

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2010

Zbyněk Carbol

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Možnosti využití elektroměrů**  
**Possibilities of Utilization of Electrometer**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zbyněk Carbol**  
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **3907T001 Elektroenergetika**  
Téma: **Možnosti využití elektroměrů**  
**Possibilities of Utilization of Electrometer**

### Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky měření elektrické energie
2. Popis moderních elektroměrů a jejich využití
3. Využití registrů elektroměrů
4. Zpracování naměřených dat
5. Zhodnocení nasazení moderních elektroměrů z pohledu netechnických ztrát

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. Fajt V., Haasz V., Sedláček M.: Elektrická měření – skriptum ČVUT Praha 1996
2. Internetové stránky a katalogy výrobců elektroměrů, měřicích a komunikačních systémů
3. Podklady poskytnuté firmou ČEZ Měření, s.r.o.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání:

Datum odevzdání:

---

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*

---

prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
*děkan fakulty*

Čestné prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem také všechny literární prameny, publikace a internetové stránky, ze kterých jsem čerpal.

Datum odevzdání: 5.4.2010

.....

Zbyněk Carbol

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Petru Krejčímu, Ph.D., za cenné rady a doporučení při vypracovávání této diplomové práce.

Poděkování patří také Ing. Soni Netoličkové, vedoucí odboru Kontroly měření ve společnosti ČEZ Měření, s.r.o., za poskytnutí údajů z reálného nasazení inteligentních elektroměrů a podkladů o dané problematice.

Abstrakt:

### Možnosti využití elektroměrů

Tato práce přináší náhled do problematiky moderních elektroměrů a jejich nasazení v sektoru malooběhu z pohledu distribuční společnosti. Přináší základní charakteristiky moderních elektroměrů a jejich funkcí, možnosti vyčítání údajů a navrhuje postupy pro využití získaných údajů. Cílem je zdůraznit pozitivní vlastnosti a přínosy nasazení inteligentních elektroměrů, jak pro zákazníka, tak pro provozovatele distribuční soustavy, a vyzdvihnout ty, které je možné již začít naplno využívat.

Klíčová slova:

inteligentní měřicí systémy, Smart Metering, Automated Meter Management, statický elektroměr, indukční elektroměr, hromadné dálkové ovládání, registry elektroměrů, Smart Home, Smart Grid

Abstract:

### Possibilities of Utilisation of Electrometer

This work provides preview into the issue of modern meters and their deployment in the sector of retail customers in perspective of distribution company. It provides the basic characteristics of modern meters and their features, options of data reading and processing. The aim is to highlight the positive features and benefits of deploying smart meters, both for customers and for the distribution system, and highlight those, that can be already fully used.

Key words:

intelligent measurement systems, Smart Metering, Automated Meter Management, static meter, inductive meter, mass remote control, registers of electrometers, Smart Home, Smart Grid

Seznam použitých symbolů a zkratk:

AMM	Automated Meter Management
DS	Distribuční soustava
DTS	Distribuční trafostanice
ES	Elektrizační soustava
ERU	Energetický regulační úřad
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
Smart Metering	Měření elektrické energie inteligentními elektroměry
NEO	Neoprávněný odběr
nn	Nízké napětí
NT	Nízký tarif
OZE	Obnovitelné zdroje elektrické energie
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
TDD	Typový diagram dodávky
VVN	Velmi vysoké napětí
VN	Vysoké napětí
VT	Vysoký tarif

Obsah:

<b>1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY INTELIGENTNÍCH ELEKTROMĚRŮ.....</b>	<b>2</b>
<b>2. TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE.....</b>	<b>5</b>
2.1 Měření indukčními elektroměry .....	6
<b>3 MODERNÍ ELEKTROMĚRY, JEJICH FUNKCE A VYUŽITÍ .....</b>	<b>8</b>
3.1 Popis práce statického elektroměru.....	8
3.2 Odečty dalších médií elektroměrem .....	11
3.3 Komunikace elektroměrů s centrálou .....	12
3.4 Zabezpečení sítě a dat .....	17
3.5 Koncepce Smart Home .....	18
3.6 Koncepce Smart Grid .....	20
<b>4. VYUŽITÍ REGISTRŮ ELEKTROMĚRU .....</b>	<b>23</b>
4.1 Spolehlivá a přesná fakturace .....	23
4.2 Zabránění neoprávněným odběrům elektřiny.....	25
4.3 Minimalizace výjezdů k elektroměrům .....	25
4.4 Využití dat pro distribuci.....	26
<b>5. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....</b>	<b>27</b>
5.1 Registry moderních elektroměrů .....	27
5.2 Pilotní projekt Smart Meteringu společnosti ČEZ.....	28
5.3 Datová centrála.....	30
5.4 Parametrizace elektroměru.....	31
5.5 Zpracování dat z pilotního projektu.....	32
<b>6. DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ PROVOZOVÁNÍ CHYTRÝCH ELEKTROMĚRŮ .....</b>	<b>37</b>
6.1 Nastavení elektroměru .....	37
6.2 Využití dat.....	39
<b>7. NASAZENÍ MODERNÍCH ELEKTROMĚRŮ Z POHLEDU NETECHNICKÝCH ZTRÁT...42</b>	
<b>8. ZÁVĚR .....</b>	<b>44</b>
<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>45</b>
<b>Seznam obrázků a grafů.....</b>	<b>46</b>



# 1. Úvod do problematiky inteligentních elektroměrů

Již je to zhruba sto let, co máme možnost využívat výhod elektrických spotřebičů u nás doma. Máme připojení k distribuční síti a vnitřní rozvody, takže můžeme směle svítit, vařit, topit, sledovat televizi i užívat si vymožeností posledních desetiletí- informačních technologií, mobilních telefonů apod. Ale není to zadarmo - ke stanovení ceny za odebranou energii potřebujeme znát v první řadě její množství. To, jak všichni víme, zjistíme z elektroměru, který je mezičlánkem spojujícím právě distribuční a domovní rozvod. Celá desetiletí nám vcelku dobře sloužily elektromechanické elektroměry, např. firmy Křižík. Pokrok pokračoval, a tak jsme mohli poslední desetiletí používat elektronické elektroměry. Tyto již odstranily pohyblivé části - kotouče, hřídelky a čítače, které mohly být zdrojem nepřesností nebo mohly být ovlivněny „spořivými“ zákazníky. Elektronické měřiče mají navíc i podstatně nižší vlastní spotřebu, ale jejich nevýhodou je nutnost manuálního odečtu.

Od digitálních elektroměrů byl již jen krůček k inteligentním elektroměrům - stačí zvýšit vzorkovací frekvenci, přidat funkce navíc a hlavně komunikační rozhraní pro přenos informací mezi elektroměrem, jinými domácími měřiči a centrálou.

Problematika, která se zabývá měřením elektrické energie inteligentními elektroměry, se nazývá Smart Metering. Tento termín nemá používaný český ekvivalent, a proto jej budu používat i v této práci. Smart Metering nemá přesnou definici (stanovenou zákonem nebo předpisy), nicméně ERU jej formuluje takto: *Smart Metering je nástroj pro dálkové ovládání elektroměrů, nástroj pro průběžné měření spotřeby a dálkový přenos dat o naměřených hodnotách, či údajů o stavech sítě, měřidla nebo poruchových hlášeních.* Jak vidíme z definice, Smart Metering může být pro nás velice přínosný, a to v mnoha ohledech. Také proto se do situace vkládá Evropská Unie, která v červenci 2009 vydala Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/72/ES o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou, ve které se o inteligentních měřicích systémech zmiňuje takto:

*Členské státy zajistí zavedení inteligentních měřicích systémů, které podpoří aktivní účast spotřebitelů na trhu s dodávkami elektřiny. Zavedení těchto měřicích systémů může být podmíněno ekonomickým posouzením všech dlouhodobých nákladů a přínosů pro trh a jednotlivého spotřebitele nebo posouzením toho, jaký způsob inteligentního měření je z hospodářského hlediska nejprůměrnější a nákladově nejefektivnější a jaký harmonogram jejich distribuce je proveditelný.*

*Toto posouzení se provede do dne 3. září 2012.*

*Na základě tohoto posouzení členské státy nebo jakýkoli příslušný orgán jimi určený připraví rozvrh, jehož cílem je zavedení inteligentních měřicích systémů do 10 let. Pokud se zavádění inteligentních měřicích přístrojů vyhodnotí pozitivně, musí být do roku 2020 inteligentními měřicími systémy vybaveno alespoň 80 % spotřebitelů.*

U nás se zatím začíná se zaváděním těchto systémů, pilotní projekty nasazení AMM majoritních dodavatelů elektřiny probíhají a nic dalšímu pokroku v tomto duchu nebrání. Zároveň ale bohužel pro toto konání zatím není opora v legislativě ani v nařízeních ERU (např. PPDS, Cenové rozhodnutí), což bude určitě pro budoucí rozvoj nasazení AMM nutnost.

V zahraničí jsou již systémy AMM v provozu, ze zemí EU jmenujme například Dánsko, Itálii, Švédsko nebo Nizozemí. Ve všech těchto zemích nicméně stále probíhá rozšiřování sítě chytrých elektroměrů i možností, které tyto nabízejí jak zákazníkům, tak provozovatelům těchto sítí.

Větší rozšíření moderních technologií přinese mnoho nových a komfortnějších funkcí. Z mnoha jmenujme ty nezajímavější:

- Dálkové odečty
- Možnost sledování dalších médií (teplo, plyn, voda)
- Možnost začít s vícetarifními produkty v maloodběru
- Možnost sledování průběhu spotřeby
- Dálkové ovládání elektroměrů (odpojení/zapojení odběrného místa, přerušení dodávky apod.)
- Možnost sledování kvality elektrické energie (vyšší harmonické, zkreslení, flickr, účinník, výpadky)

Tyto funkce budou generovat pozitiva, která se projeví v provozu soustav:

- Snížení spotřeby elektřiny
- Vyhrazení profilu zatížení- snížení špičkového zatížení
- Lepší diagnostika a prevence poruch v DS
- Zlepšení provozu a rozvoje DS
- Jednoduchá a rychlá změna dodavatele
- Eliminace netechnických ztrát (neoprávněné odběry elektřiny)
- Pokles nákladů na odečty a fakturaci
- Přesná fakturace, rychlejší reakce na situaci na trhu

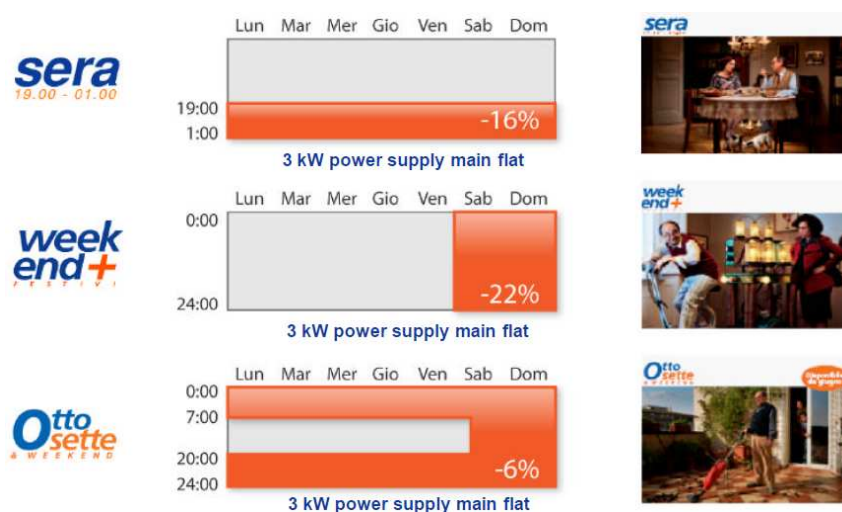
Co bude v průběhu rozšiřování AMM jistě hrát nezanedbatelnou roli, jsou peníze - náklady distribučních společností na zavedení a provoz systému budou jistě velmi vysoké a pravděpodobně se distribučním společnostem nevrátí hned. Avšak je jistě v celospolečenském zájmu, aby Smart Metering doznal rozšíření v České republice, potažmo i v okolních zemích, do budoucna včetně aktivního provozování inteligentních soustav Smart Grids v celoevropském měřítku.

Ačkoli je Smart Metering ve většině evropských zemí spíše ve fázi testování, je již jeho zavádění povinné v těchto zemích:

- Švédsko- povinná instalace od roku 2003, nyní jsou inteligentními elektroměry vybavena všechna odběrná místa, včetně domácností
- Itálie- dobrovolná instalace od roku 1990, v současnosti pokrývá více než 86 procent maloodběratelů, povinná instalace u všech odběrů do roku 2011
- Portugalsko- povinná instalace do roku 2015
- Španělsko- povinná instalace do roku 2018

Nejdále v rozvoji Smart Meteringu v Evropě je Itálie, která kvůli problémům v energetické síti, zvláště po velkých výpadcích v roce 2003, uspíšila jeho nasazení. V Itálii je v současnosti nasazeno více než 35 milionů inteligentních elektroměrů komunikujících přes 350 tisíc koncentrátorů umístěných v distribučních trafostanicích.

Díky tomu se jim podařilo snížit špičkové zatížení a zkvalitnit informace o odběru a stavu sítě. Zákazníci si nyní mohou jednodušeji zvolit dodavatele elektřiny a vybrat si tarif na míru, přičemž k dispozici mají i předplacený systém. Díky velkoplošnému nasazení se cena instalace na jedno odběrné místo dostala na 70€, což je zhruba řetina oproti srovnatelným projektům v Západní Evropě nebo USA.



Obrázek 1: Ukázka italských tarifů

Odečty se v Itálii provádějí dvakrát měsíčně, fakturuje se pouze skutečně odebraná elektřina. Tarify motivují zákazníky přesunout spotřebu do doby, která je příznivější pro energetickou soustavu. V dnešní době má hodně spotřebičů funkci odloženého startu, díky které lze procesy, např. praní prádla, mytí nádobí myčkou, načasovat, ale je škoda, že v České republice odběratelé nejsou nijak motivováni tyto funkce využívat. V tom by Smart Metering mohl u nás zapůsobit a odlehčit naší energetické soustavě zrovnoměněním zatížení.

Použité zdroje: [4], [10]

## 2. Teoretický rozbor problematiky měření elektrické energie

Po celá desetiletí jsme k měření odebrané elektrické energie používali mechanické indukční elektroměry. Jejich funkce je založena na Ferrarisově principu posuvného magnetického pole. Jejich využití se ale omezuje pouze na odebranou energii, proto se také díky rozvoji elektroniky zhruba před třiceti lety začaly používat elektroměry z elektronických součástek - tyto nemají žádné pohyblivé díly, a proto se jim také říká statické. V počátcích byly velmi drahé a využívaly se při nepřímém měření na hladinách VN a VVN, kde je vyžadována vysoká přesnost.

Od té doby se zlepšila spolehlivost, rozšířil se rozsah funkcí a s rozvojem miniaturizace a elektroniky se snížila i cena, proto se nyní elektronické elektroměry začínají nasazovat i v maloodběru.

V porovnání s indukčními mají statické elektroměry především tyto výhody:

- Měření více veličin (viz kapitola Registry elektroměrů)
- Menší náběhový proud (lépe měří malé proudy, např. spotřebičů ve stand-by módu)
- Menší vlastní spotřeba (ušetří provozovatel DS, na jehož vrub vlastní spotřeba jde)
- Přesné měření i při zkreslených průbězích (při použití spotřebičů se spínanými zdroji, měniči apod.)
- Možnost dálkového odečtu (eliminace chybných odečtů, komfort pro uživatele a úspora pro provozovatele DS)
- Vysoká přesnost měření
- Zaznamenání a informace o výpadcích
- Možnost použití více tarifů
- Senzory rozpoznání pokusů o ovlivnění měření (odkrytování, přítomnost magnetického pole, obrácený tok výkonu, ztráta napětí fáze apod.)
- LCD displej zobrazující více parametrů (odebíraný výkon, tarif apod.)

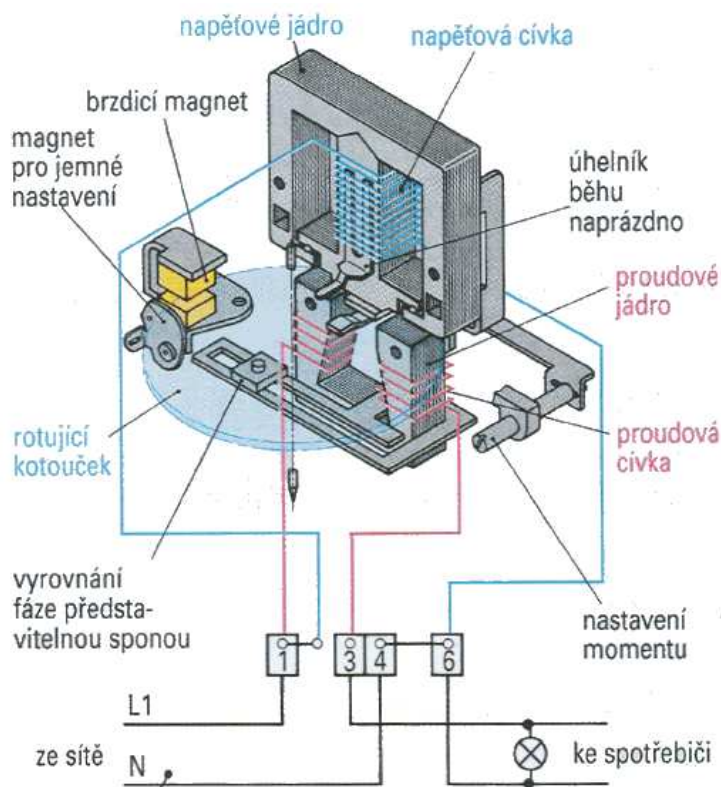


Obrázek 2: Porovnání indukčního a statického elektroměru

## 2.1 Měření indukčními elektroměry

Indukční elektroměry, tzv. „hodiny“, nás provázely skoro celým minulým stoletím. Jejich parametry i přesnost se zlepšovala, ale pro některé jejich špatné vlastnosti jsou nyní nahrazovány statickými přístroji.

Princip práce střídavého indukčního elektroměru je podobný jako u asynchronního motoru s kotvou nakrátko. Místo rotorového vinutí (hliníkové lité klece) zde máme hliníkový kotouček. Tento kotouček je vložen mezi dvě cívky, nahoře je napěťová s velkým množstvím závitů tenkého vodiče, na dolním jádře je navinuta proudová cívka s malým počtem závitů vodiče většího průřezu. Magnetická pole cívek vytvářejí posuvné magnetické pole, které vyvolá točivý moment na hřídelce kotoučku. Velikost tohoto momentu je tím větší, čím větší je odběr výkonu za elektroměrem.



Obrázek 3: Princip práce jednofázového činného elektroměru

Součástí elektroměru je i brzdící magnet (permanentní), který vytváří v kotoučku vířivé proudy, které zabraňují většímu roztočení kotoučku, než odpovídá zátěži a po odpojení zátěže brání setrvačným silám a kotouček zastavují.

Otáčivý pohyb kotoučku je následně přes šnekový převod přenášen na mechanické počítadlo. Počítadlo tvoří několik souosých válečků (podle počtu cifer cca 6-8). Každý váleček má na levé straně zářez, do kterého jednou za otáčku zapadne zub, který pootočí sousední váleček o jednu

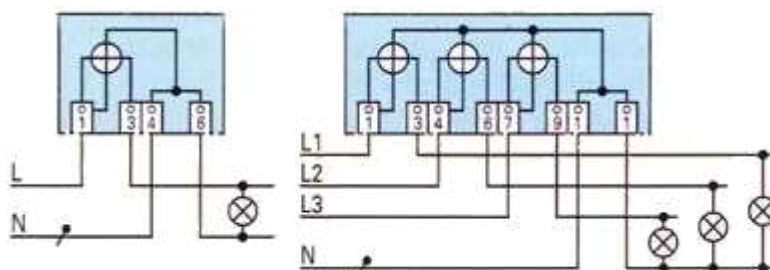
desetinu obvodu. Počítadla jsou u dvoutarifního elektroměru dvě, přepínání tarifů přepíná pohon z jednoho na druhé.

Konstanta elektroměru udává počet otáček kotoučku, za který se registruje 1 kWh.

Práci trojfázového proudu měříme trojfázovými elektroměry. Ve čtyřvodičové soustavě (vyveden střední vodič- síť nn) měříme elektroměry se třemi měřicími ústrojími. Na společné hřídelce jsou pak umístěny dva kotouče, na dolní působí dvě a na horní jedno měřicí ústrojí. Počítadlo udává součet elektrické práce změřené ústrojími v jednotlivých fázích.

Tyto indukční elektroměry měří pouze činnou energii. Na kotouček působí magnetické síly vyvolané proudem a napětím téže fáze. Když jsou tento proud a napětí soufázné, působí na kotouček největší síly. Kotouček se neotáčí, když je mezi napětím a proudem posuv  $90^\circ$  - neregistruje jalovou energii.

Elektroměr při výrobě nastaví výrobce, ale aby mohl být použit pro fakturaci, musí před instalací a pak v zákonem daných intervalech projít ověřením. Po ověření je měřicí část zaplombována a plomba označena rokem ověření. Při ověřování se testuje hlavně chod naprázdno (při připojení 80-110 %  $U_n$ , když proudový obvod není zapojen, se nesmí začít kotouček otáčet), dále náběh elektroměru (kotouček se musí roztočit a v chodu pokračovat za jmenovitého napětí po připojení 0,5 %  $I_n$ ,  $\cos\varphi=1$  i když jsou v záběru 2 válečky počítacího strojku), zkratová odolnost a chyby měření (dle tabulky). Podrobně se problematice elektroměrů věnuje norma ČSN EN 60514.



**Obrázek 4: Zapojení jednofázového a třífázového elektroměru**

Nevýhody indukčních elektroměrů:

- Vlastní spotřeba u starších typů indukčních elektroměrů může dosahovat až 5W, zatímco u statických i pod 1W. Náhradou indukčních elektroměrů ušetří distributor elektrické energie. Při použití pro podružné měření ušetří zákazník.
- Vyšší náběhový proud (výkon) - indukční elektroměr může potřebovat k rozběhu i 20-30W, zatímco statický registruje cca od 2-3W. Proto dokáže lépe změřit odběry spotřebičů ve stand-by módu a spotřebičů s malými odběry.
- Mechanická konstrukce je náchylnější na zacházení a provozní podmínky
- Riziko neoprávněných odběrů - riziko páčání neoprávněných odběrů je u indukčních elektroměrů řádově vyšší než u statických. Konstrukce elektroměru, mechanické počítadlo a otáčející se kotouček některé odběratele přímo vybízí k tomuto jednání. Možností napadení je více- od brzdění kotoučku mechanicky (po provrtání elektroměru), přes stáčení číselníku (opět provrtání), rozplombování elektroměru a zaplombování falešnými nebo upravenými

plombami (stáčení číselníku nebo brzdění kotoučku), napadení magnetickým polem (přiložení magnetů k elektroměru, ovlivnění magnetických polí a brzdění kotoučku) a úpravy zapojení (přehození přívodních a vývodových vodičů, odpojení derivačních propojek- napěťové cívky).

Hlavně z výše uvedených důvodů se dnes všechny indukční elektroměry nahrazují statickými, do budoucna elektroměry podporujícími funkce AMM - Smart Metering. Nové elektroměry se dělají shodné, co se týče montážních rozměrů i zapojení, proto poslední věc bránící jejich masivnímu nasazení je jejich vyšší cena, která ale při plošném nasazení těchto zařízení citelně klesá.

Použité zdroje: [4], [7], [9]

### 3. Moderní elektroměry, jejich funkce a využití

#### 3.1 Popis práce statického elektroměru

Metrologická funkce statických elektroměrů spočívá ve skládání velkého množství naměřených elementárních množství energie, které jsou elektroměrem zpracovány. Tato činnost probíhá v několika krocích v kombinaci s hardwarovými a softwarovými funkcemi.

Elektroměry využívají transformátorové čidlo proudu, napěťový signál se do elektroniky přivádí z odporového děliče. Tři napěťové a tři proudové analogové signály jsou na horní desce elektroniky převedeny převodníkem na digitální signál. Digitalizované hodnoty proudu a napětí jsou tvořeny cca každých 0,5ms. Měření činné a jalové energie a výkonu se vypočítává násobením proudových a napěťových signálů po integraci a srovnáním výsledku s nastaveným maximem, aby byl vytvořen počet impulsů, které představují množství. Těmto elektroměrům se proto také říká impulzní. Množství pulzů na kWh se nazývá impulzní charakteristika, která je konstantou elektroměru. Podle typu elektroměru se pohybuje v rozmezí 250 – 40 000. Pro kontrolu jsou elektroměry vybaveny LED, které s každým impulzem bliknou.

Tímto procesem měření elektroměr získá informace o

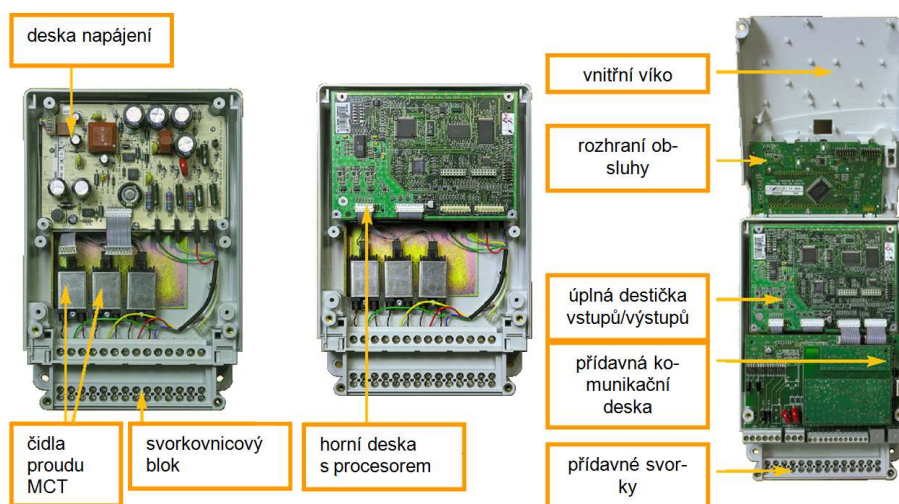
- činné a jalové energii pro každou fázi
- $I_{RMS}$ ,  $U_{RMS}$
- proudu neutrálu a posunu nulového napětí.

Některé elektroměry umí vypočítat i zdánlivou energii, přitom využívají následujících vztahů:

$$\begin{aligned} S &= I_{RMS} \cdot U_{RMS} && \text{zdánlivý výkon pro větší měřené proudy} \\ S &= P_2 + Q_2 && \text{tato metoda je přesnější u malých množství proudu.} \end{aligned}$$

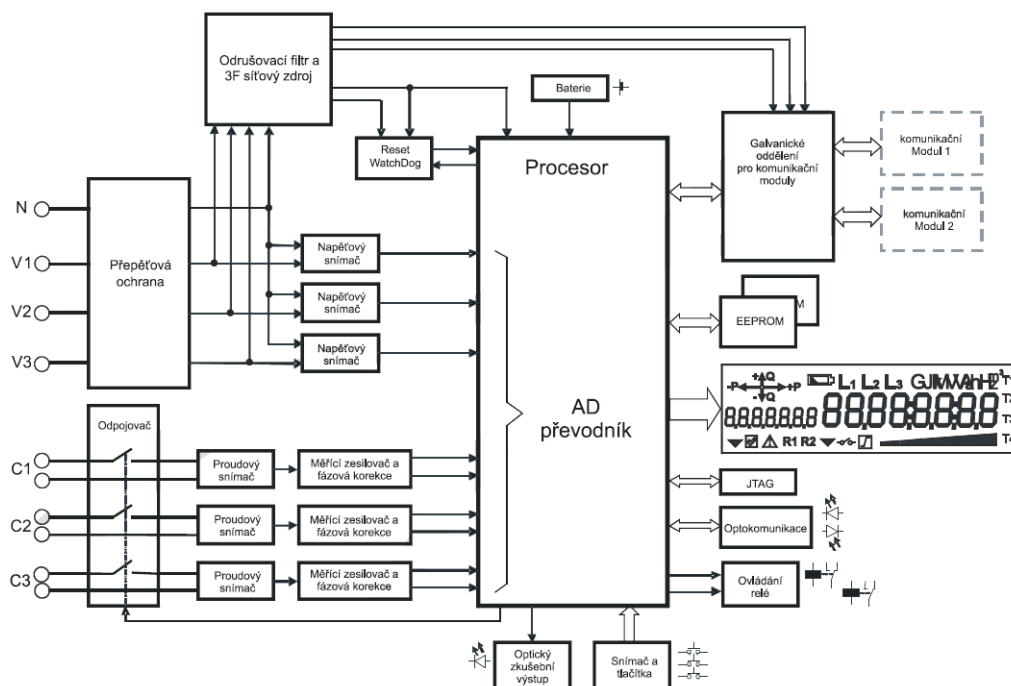
Nejdokonalejší elektroměry jsou schopny vypočítat i všechny úhly, sled fází a účinníky. Výpočet úhlů se provádí s využitím P a Q a kalkulací  $\arctg(P/Q)$ .





**Obrázek 5: Elektroměr Actaris SL7000 pro velkoodběr (elektroměry pro maloodběr mají menší proudové senzory a méně pomocných svorek)**

Základem statického elektroměru je tedy mikroprocesor, který vybavuje všechny hlavní funkce. Podle kalibrace, která se provádí programově, počítá množství spotřebované energie. Procesor také obsluhuje displej, snímá tarifní vstupy a vybrané hodnoty ukládá do paměti FLASH-ROM. Důležitou možností u inteligentních elektroměrů je možnost přehrání firmware - vnitřního software, které zajistí kompatibilitu s novým SW a může rozšířit nebo vylepšit stávající funkce elektroměru. Elektroměr dokáže registrovat i další informace, jako například otevření víka elektroměru nebo přítomnost magnetického pole, které mají napomoci odhalení neoprávněné manipulace ve snaze o neoprávněný odběr elektřiny, a proto má další specializované senzory.



**Obrázek 6: Blokové schéma elektroměru ZPA AM350 v přímém zapojení**



O napájení elektroměru se stará zdroj, který musí umět pracovat v širokém rozsahu napětí (od podpětí po přepětí v síti), a to i při výpadku jedné fáze při třívodičovém zapojení nebo dvou fází při čtyřvodičovém zapojení. Díky kondenzátorům ve zdroji elektroměr překlene výpadky do 1-2 sekund bez změny funkčnosti. Díky speciálním velkokapacitním kondenzátorům může elektroměr zůstat v provozu až týden od výpadku, je-li vybaven záložní baterií tak i několik let. Data o spotřebované energii jsou uloženy ve stálé paměti, doba jejich uchování je nejméně 10 let bez napájení.

Elektroměry jsou vybaveny vlastními hodinami, které se mohou řídit frekvencí sítě, ale dnes má většina vlastní hodiny řízené krystalem. Tyto pak mohou ovládat přednastavené spínací hodiny, které přepínají tarify a ovládají připojené zátěže. Případně se tarify přepínají pomocí externího řídicího impulsu, většinou o hodnotě 230V, který se přivede na příslušné svorky. Impuls generuje přijímač HDO, pokud je vydán povel HDO, elektroměr pak přepne tarif. Jeden přijímač HDO může ovládat více elektroměrů. Poslední možností je přepínání tarifů elektroměru pomocí povelu z datové centrály, zde je ale třeba počítat s prodlevou od vyslání signálu do přepnutí tarifu, event. blokování připojených spotřebičů. Elektroměry se vyrábí jedno, dvou a čtyřtarifní, přičemž dvoutarifních se často využívá i při měření jednotarifních odběrů, aby mohly být nasazeny elektroměry jednotného typu.

Pro komfort obsluhy mají elektroměry pro Smart Metering zkvalitněné LCD displeje (ukázka na předchozí straně). Tyto jsou schopny zobrazit údaje o přenesené energii, vybraná data z registrů, aktuální kvadrant přenosu elektřiny, tarifu, správnosti zapojení, velikosti okamžitého odběru, stavu blokovacího relé, alarmech i komunikaci, samozřejmě dle typu elektroměru a jeho výbavy. Pro vyvolání příslušných informací a jejich rotaci na displeji jsou elektroměry vybaveny tlačítky.

Pro komunikaci jsou elektroměry vybaveny optickým rozhraním pro místní komunikaci pro odečet dat z registrů a parametrizaci elektroměru. Dále mohou být vybaveny rozhraními RS232 nebo RS485 pro update firmware a přenos dat na nižší úrovni. Dálkovou komunikaci s elektroměrem zajišťuje modem, který může být integrovaný v elektroměru nebo v externím provedení. Problematice dálkové komunikace se více věnuje kapitola 2.3 Komunikace elektroměrů s centrálou.

Data se v elektroměru ukládají do registrů, profilů a záznamníku událostí. Registry jsou předem definovaná pole, do kterých elektroměr ukládá informace o energii, času, proudu, napětí event. o dalších údajích a jsou adresovatelné, např. prostřednictvím kódů EDIS nebo OBIS. Profily jsou údaje z měřicích kanálů ukládané v předem definované periodě. O formátu, možnostech ukládání a množství paměti rozhoduje výrobce, potažmo odběratel při zadávání poptávky. Záznamníky událostí zapisují data, včetně časového razítka, která se týkají funkce elektroměru- výpadky napětí, pokusy o napadení nebo selhání některého z komponent elektroměru. Tato data mohou být nastavena jako tzv. alarmy - údaje o nich jsou ihned aktivně přeneseny do datové centrály.

Dalším prvkem, kterým bývají moderní elektroměry vybavovány v čím dál větší míře, je tzv. limiter. Je to elektronicky řízený omezovač výkonu nebo jistič. Jeho funkci lze řídit tlačítkem na elektroměru, stav je indikován na displeji nebo pomocí zvláštní kontrolky na těle elektroměru. Limiter se nastavuje na maximální dovolený fázový proud a na odebranou energii za nastavený čas (obdobu čtvrt hodinového maxima). Nastavení může být různé pro jednotlivé tarify.

### 3.2 Odečty dalších médií elektroměrem

Mimo samotnou elektřinu, která je pro elektroměr samozřejmě základní, se nabízí možnost využít externí měřicí vstupy pro připojení měřičů spotřeby i dalších médií. Toto pojetí Smart Meteringu se nazývá multiutilitní.

Nejčastěji se diskutuje o následujících médiích:

- Plyn- měření přeneseného objemu
- Voda- měření přeneseného objemu
- Teplo- měření objemu a teploty (rozdílu teplot)

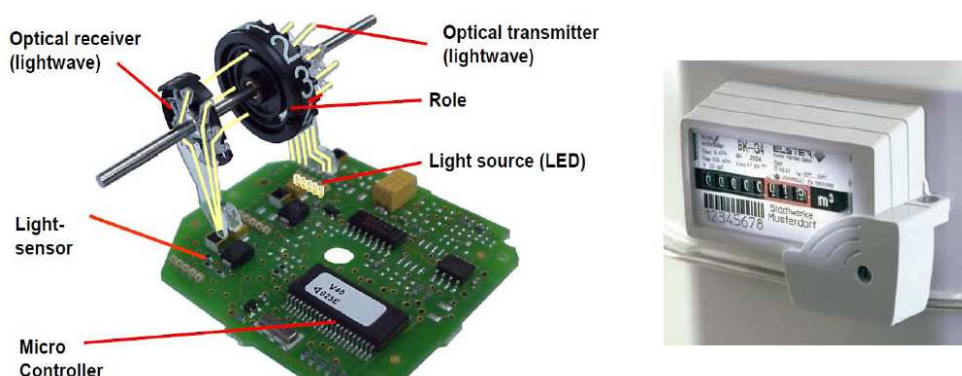
Co však v tomto směru přináší omezení, je povaha těchto médií. Měření není v elektrických jednotkách, ale pro úspěšnou kooperaci s elektroměrem nebo jeho modemem je potřeba, aby měřicí členy médií dodaly elektronický signál. Je tedy v těchto případech nutné řešit zpracování měřicího systému, jeho napájení a přenos signálu do elektroměru.

Pro distributory plynu, vody nebo tepla by mělo zavedení tyto hlavní přínosy:

- Přesná a včasná fakturace, lepší reakce na změny cen
- Lepší rozvržení záloh - odstranění TDD\*
- Úspora nákladů na odečty
- Úspory energie, eliminace netechnických ztrát
- Rychlejší a levnější možnost změny dodavatele
- Informace o průběhu spotřeby, optimalizace provozu a rozvoje DS
- Možnost zavedení předplatného systému (event. i dálkové přerušování dodávky)

Smart Metering by v této oblasti byl přínosem i pro koncové odběratele, protože by své hospodaření s těmito médii mohli lépe kontrolovat, což by jistě vedlo ke snížení jejich spotřeby.

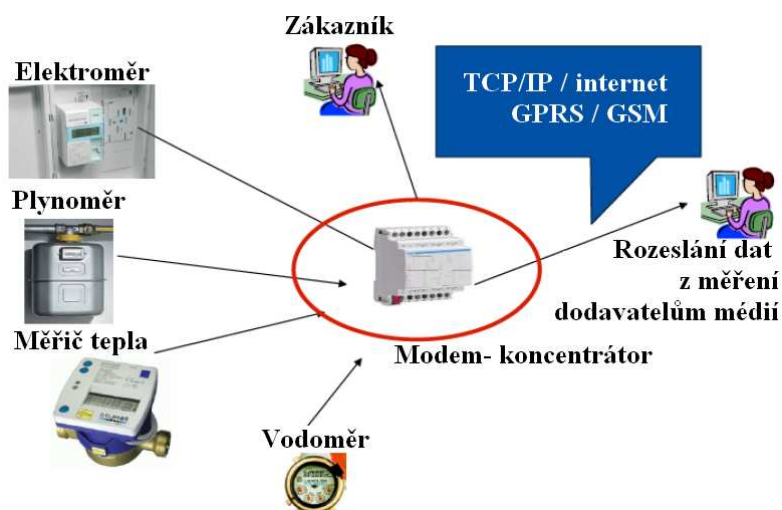
Přínos by multiutilitní řešení mělo i pro provozovatele elektrizační DS, ten by mohl sdílet náklady na komunikační kanál (pořízení i provoz) s provozovateli ostatních soustav, nebo se nabízí možnost, že by se své služby mohl pokusit nabídnout i na trhu s plynem, vodou nebo teplem.



**Obrázek 7: Provedení senzoru pro měření přeneseného objemu bez přídavného tření (nedochází k ovlivnění metrologických charakteristik)**

V dnešní době se pro propojení s měřiči jiných médií používají pulzní vstupy, může jimi být vybaven přímo elektroměr nebo jeho modem. Vstupy bývají většinou dva, připojení je provádí přes metalické vedení. Senzor na druhé straně převádí údaj o spotřebovaném médiu na impulzy s určitou konstantou a elektroměr tyto impulzy načítá - např. 1000 impulzů = 1m<sup>3</sup>.

Do budoucna bude určitě třeba sjednotit, nejlépe na mezinárodní úrovni, standardy komunikace (RF, BT, WizzBee, metalické) a napájení měřičů (sítové, bateriové), aby se mohla tato oblast dále rozvíjet.



Obrázek 8: Koncept multiutilitního řešení RWE Germany

\* Typový diagram dodávky (TDD)

Spotřeba elektřiny v MWh je v příslušném odběrném místě rozdělena do jednotlivých dní a měsíců podle tzv. typového diagramu dodávky (TDD). Jedná se o modelový průběh spotřeby různých typů odběratelů, který byl vytvořen na základě skutečně prováděných měření u velkého množství odběratelů. Typové diagramy tedy vyjadřují, jaký je průběh spotřeby v čase. Například při vytápění je možné predikovat odběr a přizpůsobit zálohy.

### 3.3 Komunikace elektroměrů s centrálou

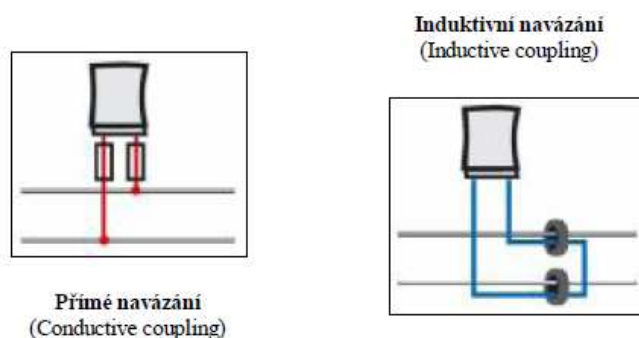
Komunikace je v oblasti Smart Meteringu jednou z nejdůležitějších oblastí. Mimo to, že elektroměry mají komunikační rozhraní pro provádění odečtů na místě pomocí PDA zařízení, zásadní je pro Smart měření komunikace dálková.

Tato komunikace se v zásadě provádí třemi způsoby popsanými níže. Existují sice i další možnosti (TCP/IP, WizzBee, WiFi, RF), ale ty se rozsáhleji nepoužívají.

- **Komunikace PLC**

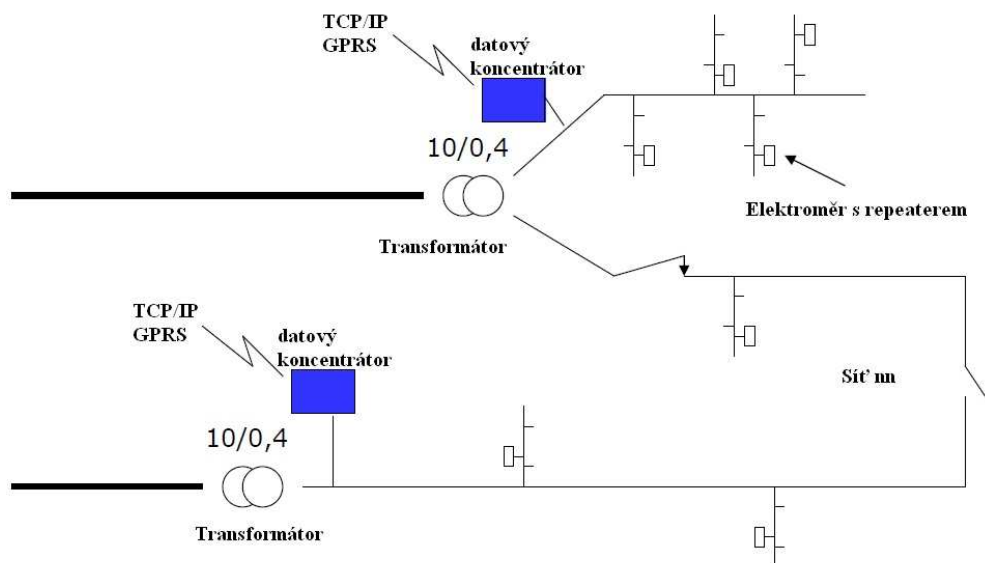
PLC znamená Power Line Communication - přenos dat v síti nn přímo po silových vodičích. Technologie, která se začala rozvíjet v devadesátých letech, spočívá v injektování užitečného datového signálu namodulovaného na nosné frekvenci (MHz) do vedení u vysílače a separaci užitečného signálu na straně přijímače. Přenosová vzdálenost může být ve stovkách metrů, což obvykle vystačí pro přenos dat od DTS ke koncovému zákazníkovi. Dosahuje se přenosových rychlostí stovek kbit/s až desítek Mbit/s v závislosti na podmínkách- rozhodující je topologie sítě, kvalita nn rozvodů a přítomnost rušení v síti, hlavně od spínaných zdrojů.

Pro zvýšení dosahu mohou jednotlivé elektroměry (nebo jejich modemy) pracovat v režimu Repeater- to znamená, že zaznamenanou zprávu přepošlou dále.



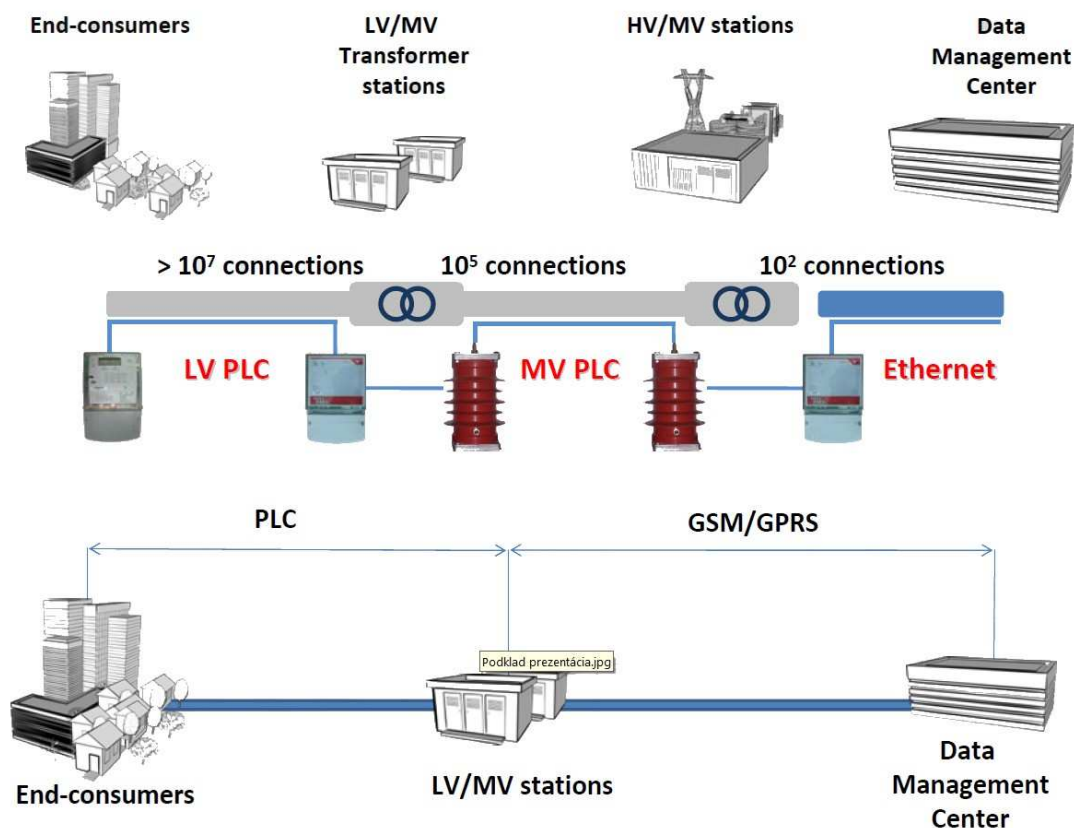
**Obrázek 9: Možnosti navázání PLC signálu**

Nevýhodou systému PLC je, že pokud vede souběžně více kabelů, signál se na souběžné vedení může naindukovat, a to až na vzdálenost cca 20cm. Toto způsobuje, že se data z jednoho elektroměru mohou ocitnout ve více koncentrátorech a vlivem většího objemu přenosu dat se prodlužuje odezva jednotlivých elektroměrů.



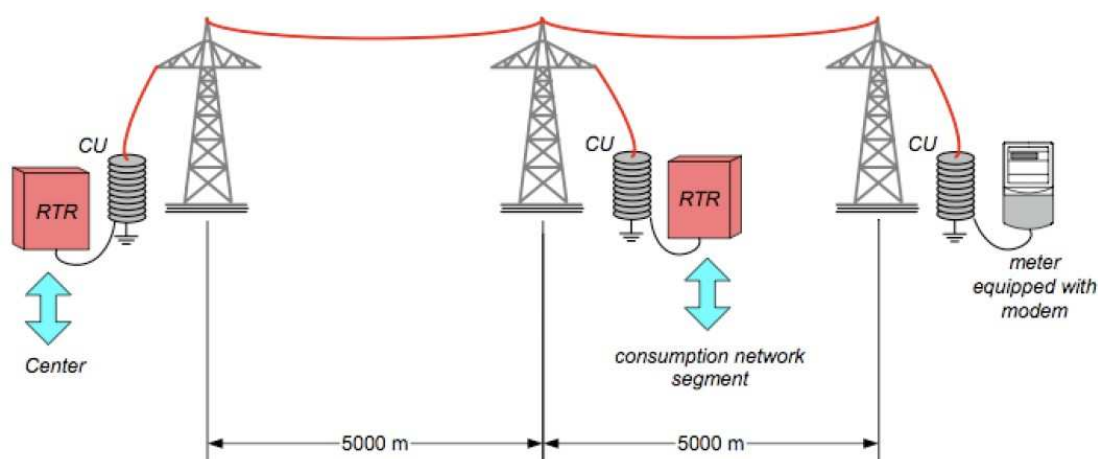
**Obrázek 10: Schéma sítě PLC**

Na obrázku vidíme příklad PLC sítě. Největší objemy dat tečou po síti nn a za pomoci repeaterů se dostanou ke koncentrátoru. Ten může data shromažďovat a zkomprimované přeposílat do centrály. Další možností je jako datový koncentrátor použít průmyslové PC, které může data před přeposláním zpracovat. Tímto zabráníme například situaci, kdy po výpadku napětí je centrála zahlcena alarmy od každého elektroměru jednotlivě. Docílíme tak i snížení objemu přenášených dat. Co se týká nákladů, náklady na provoz v síti nn odpadají, pouze přenos dat z koncentrátoru do centrály je zatížen poplatkem za telekomunikační kanál.



Obrázek 11: Nahoře PLC v nn a VN, dole PLC pouze v nn

Další možností je pokračování PLC až do místa styku s VVN, odkud dále data putují protokolem TCP/IP klasickou počítačovou sítí. V síti VN (10, 22, 35 kV) je maximální délka PLC spojení až 5 km, velkou výhodou jsou zde opět nulové telekomunikační náklady. Pořizovací náklady tohoto typu přenosu jsou sice vcelku vysoké, ale návratnost se pohybuje do 5 let, podle náročnosti instalace. Díky nízké hladině rušení na hladině VN oproti nn je zde rychlost přenosu vyšší. Rozhraní VN/VVN je již připojeno na internet (tato místa mají připojení již dnes, z důvodu dálkového monitorování a ovládání).

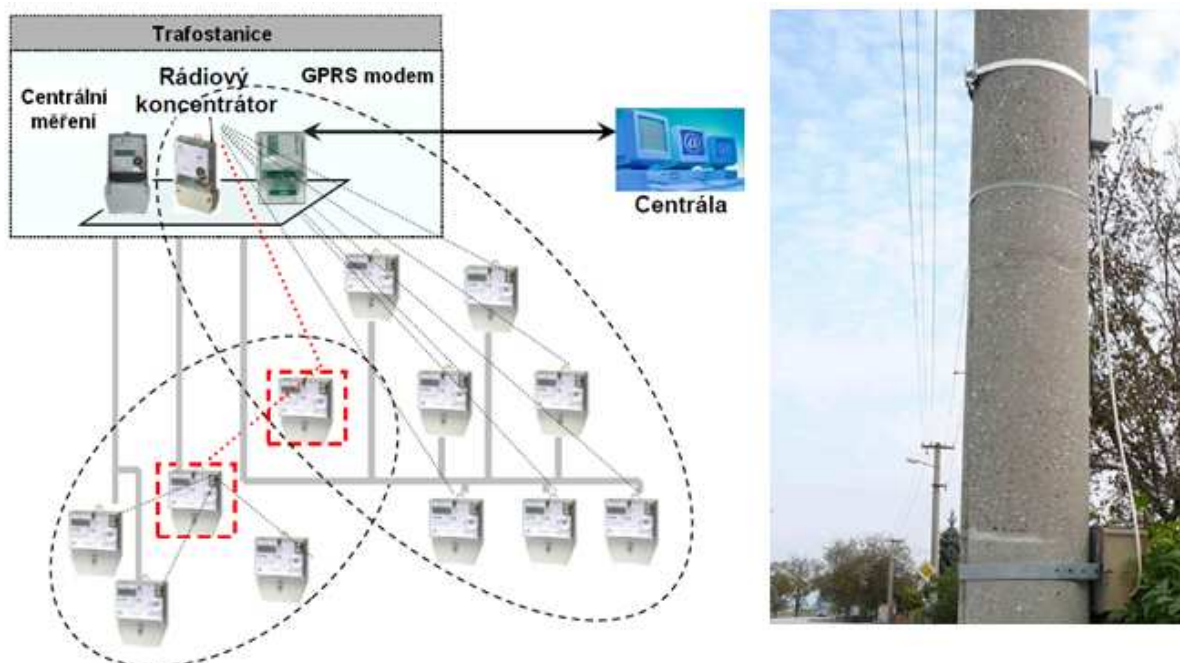


Obrázek 12: Zapojení repeateru v síti VN

V České republice se přenos dat v sítích s vyšším napětím než nn nepoužívá hlavně proto, že repeateru rozmístěné podél vedení není možné bezpečně napájet potřebnými 230V.

- **Komunikace RF**

Další možností realizace komunikace mezi elektroměry a koncentrátorem je použití přenosu RF-  
radiového přenosu. V tomto případě je komunikační cesta vedena nikoli po metalickém vedení, ale  
bezdrátově. RF znamená využití rádiové frekvence, v pilotních projektech v ČR na frekvenci  
868MHz.



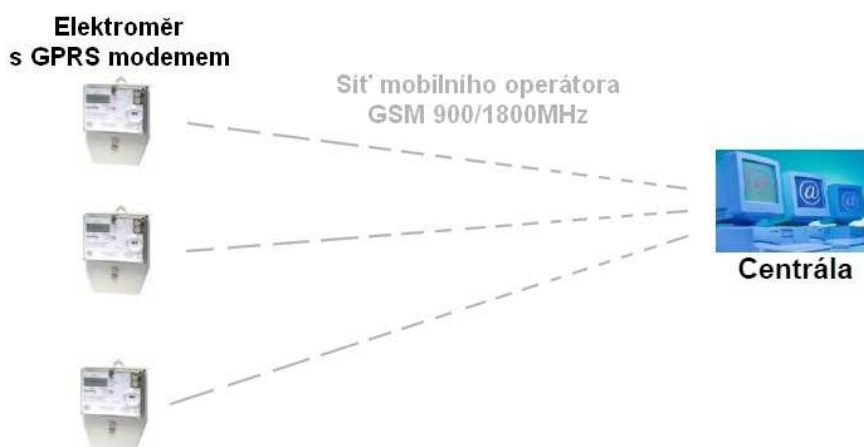
Obrázek 13: Principiální schéma RF systému a instalovaný RF repeater



Na obrázku výše můžeme vidět princip RF komunikace. Podobně jako u PLC i tady mají elektroměry (popř. jejich modemy) funkci repeaterů - pro rozšíření pokrytí signálem (na obrázku v červeném ohraničení). RF síť se buduje automaticky a může sama měnit komunikační trasy, pokud se změní útlumy signálu od jednotlivých elektroměrů. Dosah RF signálu je značně závislý na podmínkách, ovlivňují ho umístění a natočení elektroměrového rozvaděče, materiál krycího plechu a umístění průzoru (nejhorší je kov), roční období a počasí. Dosah RF v místech bez zástavby je ve stovkách metrů, pokud je vysílač za kovovým krytem rozvaděče, pak pouze desítky metrů. Odečet dat lze provádět i pomocí mobilního bezdrátového terminálu- PDA s modemem.

- **Komunikace GPRS**

GPRS je forma bezdrátového přenosu dat v místech s pokrytím signálem GSM (sít' mobilních telefonů). Data se přenášejí z elektroměru (s GPRS modemem) přes síť mobilního operátora přímo do centrály. Tento typ komunikace je i nyní široce rozšířený, ale pouze ve sféře velkoodběratelů. Náklady na provoz jsou v tomto případě v porovnání s dříve uvedenými typy velmi vysoké, protože každý elektroměr je připojen individuálně a objem přenášených dat zvyšuje telekomunikační náklady, které musí platit provozovatel elektrizační distribuční soustavy poskytovateli mobilního připojení. Tento typ propojení je ale výhodný u odběrných míst, která jsou odlehlá a PLC ani RF komunikace zde nepřipadají v úvahu.



**Obrázek 14: Schéma systému s přenosem dat pomocí technologie GPRS**

Tento systém má výhodu, že pracuje všude, kde je pokrytí sítě GSM, takže pokrývá prakticky všechna odběrná místa. Také provozovatel elektrizační distribuční soustavy nemá žádnou práci s instalací technologie a připojení nových odběrných míst tímto způsobem je velmi rychlé. Rychlost i spolehlivost ovládání i odečítání je ze všech technologií nejvyšší.

### 3.4 Zabezpečení sítě a dat

Společně s rozšířením funkcí a komunikace elektroměrů s centrálou a následným zpracováním a uchováváním dat vyvstávají nové otázky, které si zaslouží naši pozornost. V první řadě se jedná o možnost útoku na distribuční soustavu - v případě hromadného rozeslání požadavku na blokování spotřebičů nebo odpojení odběrných míst by mohla být ohrožena stabilita sítě. Dalšími problémy by mohlo být falšování údajů o spotřebované elektřině - falešně nižší spotřeba než skutečná; nebo i vydírání hackerem, popř. nespokojeným zaměstnancem. V neposlední řadě je důležitá také ochrana údajů o odběratelích (osobní data, spotřeba, platby).

Protože se inteligentní měřicí přístroje propojením s centrálou stávají počítačovou sítí, bude třeba řešit právě otázku ochrany přenosu dat v síti. A problémy počítačových sítí jsou řešeny po dobu desítek let. K ochraně dat na komunikačním kanálu nám slouží standardizované kryptografické techniky, výběr typu ochrany je třeba přizpůsobit použité technologii (např. podle možností elektroměrů, objemu komunikace apod.), výkonu a ceně. Cena ochranných opatření musí odpovídat ceně dat a možným rizikům.

Typy zabezpečení:

- Asymetrické systémy - šifrování pomocí veřejného klíče, autentizace privátním klíčem
- Symetrické systémy - šifrování i autentizace tajným klíčem

Při použití kvalitního šifrovacího algoritmu pak pouze řešíme otázku klíčů - tvorbu (generování), distribuci, nahrávání do zařízení při výrobě nebo osazování, ochranu i následné ničení. V současné době některé elektroměry Smart Metering ještě vůbec nešifrují a spoléhají na ochranu heslem. Toto je jistě nedostatkem, který bude ještě třeba do ostrého nasazení odstranit.

Ochrana dat je novou problematikou v oblasti měření a provozu sítí, její řešení bude muset být v souladu s tvorbou standardů v oblasti „chytrých“ zařízení.



### 3.5 Koncepce Smart Home

Tato koncepce si klade za cíl angažovat maloodběratele - členy domácností - ve vztahu k odebírané energii (její ceně), potažmo distribuční společnosti. Chceme spotřebiteli umožnit sledovat odběr elektřiny a jeho souvislost s cenou, což prokazatelně vede ke snížení jeho spotřeby a co je pro spotřebitele ještě zajímavější, ještě k většímu snížení plateb za energii. Nutným předpokladem Smart Home je instalovaný inteligentní elektroměr a možnost pro maloodběratele údaje o spotřebě sledovat.

K tomuto účelu se používají nejčastěji aplikace umístěné na internetu a přístupné přes webové rozhraní, ve kterých zákazník po přihlášení může sledovat informace o svém účtu u energetické společnosti. Spolu s tím má k dispozici i informace ze svých odběrných míst.

Dnes nejpoužívanější je Google powermeter, který umožňuje online sledovat spotřebu, ukazuje barevné grafy odběrového profilu a říká zákazníkům, jestli odebírají více nebo méně než v minulosti nebo ve srovnání s ostatními odběrateli. Toto dokáže informace lépe podat i méně technicky orientovaným zákazníkům a motivovat je ke snižování spotřeby. Tyto funkce jsou přístupné odběratelům v USA, Velké Británii, Indii, Španělsku a Německu.



Obrázek 15: Ukázka aplikace Google powermeter

Další možností je využití tzv. Home Display - panel zobrazující informace o aktuálním tarifu odebírané elektřiny, který může přímo ovlivnit maloodběratele k odložení energeticky náročných procesů do nízkého tarifu.

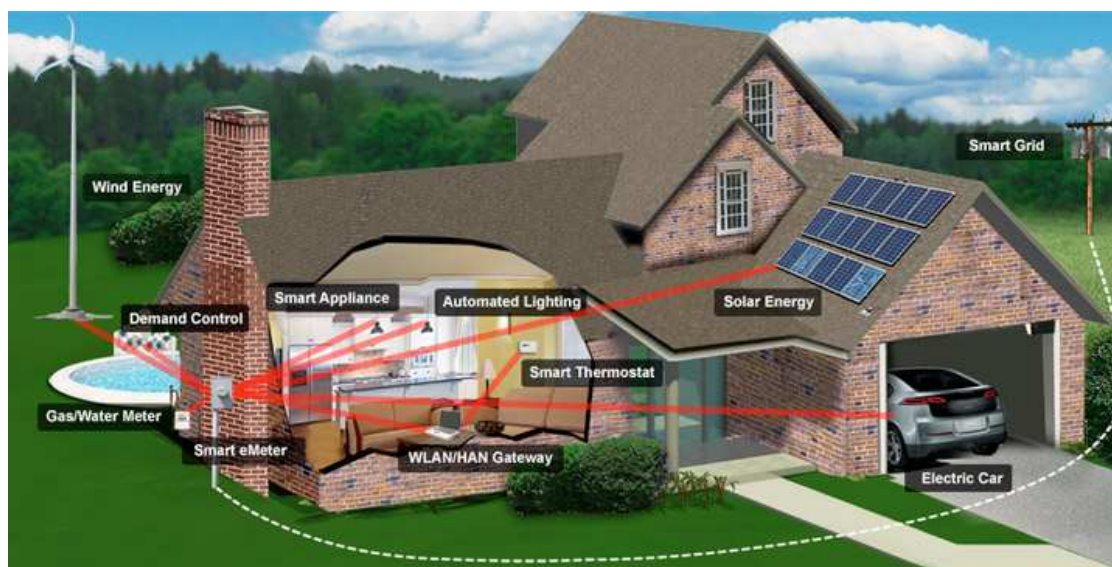


Obrázek 16: Příklad Home Display

Na obrázku výše je Home Display kombinovaný s termostatem, barva podsvětlení signalizuje tarif. Home Display se připojuje k napájecí síti a s elektroměrem komunikuje PLC signály, možné je i napojení na Home Automation třeba přes Wi-Fi rozhraní.

Smart Home může spravovat i další utility, jako plyn, vodu nebo teplo.

Celý systém může nabídnout zákazníkovi informace o jeho spotřebě (výrobě) energií, možnost dálkového ovládání spotřebičů (např. si zapnout mobilním telefonem nebo přes internet topení).



Obrázek 17: Příklad „chytrého domu“

Na obrázku výše vidíme blízkou budoucnost, kdy domácnost využívá obnovitelné zdroje energie, akumuluje elektřinu v elektromobilu a je vybavena chytrými spotřebiči, u kterých může dálkově řídit jejich spotřebu. Díky tomu spoří náklady na pořízení energií a užívá si většího komfortu spojeného s jednoduchým ovládáním celého systému.

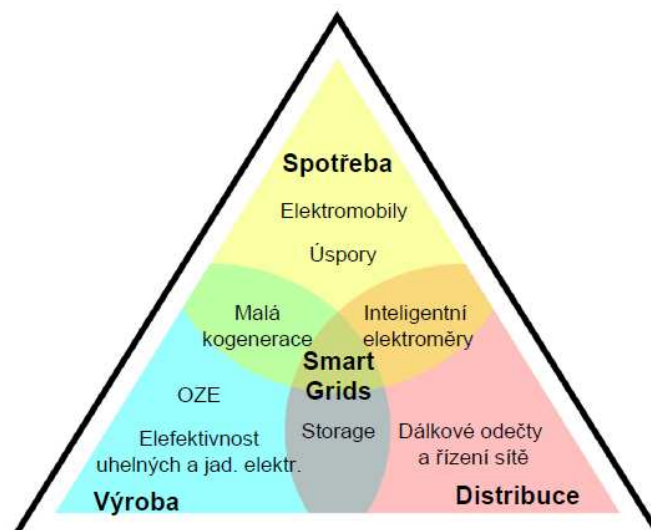
### 3.6 Koncepce Smart Grid

Smart Grid - v překladu znamená chytrá síť. Tato technologie má postupně inovovat stávající sítě a jejich řízení tak, aby se přizpůsobily novým trendům - větší množství menších zdrojů pracujících do ES.

Zavedení Smart Grid sítí má za cíl přinést tyto benefity:

- Zvýšení podílu OZE na celkové vyrobené elektřině
- Snížení rezervovaného (instalovaného) výkonu zdrojů
- Lepší rozložení zatížení vedení, nižší ztráty
- Zlepšení stability ES, eliminace výpadků

Výše uvedené přínosy přinesou jednak úspory finanční, ale také budou šetrnější k životnímu prostředí.

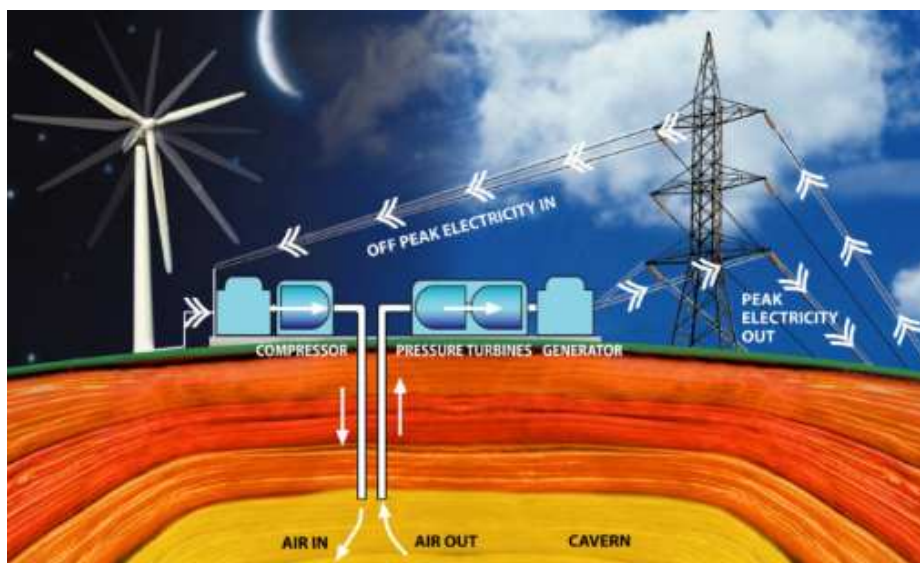


Obrázek 18: Spolupráce komponentů ES v síti Smart Grid

Uvedení Smart Grid do provozu nicméně klade nároky na všechny složky v ES:

- Zdroje - cílem snažení koncepce Smart Grids je snížení ztrát, kterého dosáhneme přiblížením zdrojů spotřebě a využitím menších zdrojů. Žádoucí je využít všechnu energii z obnovitelných zdrojů (vodní, solární a větrné elektrárny) a zdrojů s vysokou účinností (kogenerační a trigenerační jednotky). Menší zdroje, hlavně OZE, se budou moci sdružovat do tzv. virtuálních elektráren - imaginárních jednotek většího výkonu s vyrovnanější křivkou výroby a lepší pozicí na energetickém trhu. Ale i tyto zdroje jsou, co se týče průběhu výroby elektřiny, značně nepředvídatelné, a proto bude poptávka po zdrojích, které by je mohly flexibilně zastoupit v případě nedodávky - rychle startující rezervy, nejčastěji plynové a akumulární vodní elektrárny, do budoucna snad i vodíkové články.

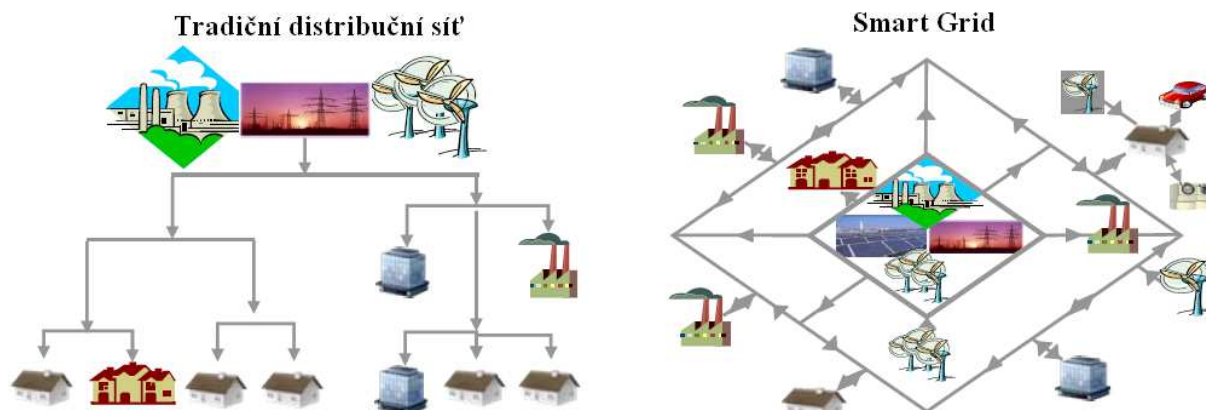
- Rozvod - díky dálkově ovládaným rozvodnám a kvalitnímu měření v nich bude moci řízení směřovat toky energií pro minimalizaci ztrát, účelné využití přenosové kapacity vedení a odvrácení rizika lokálního přetížení sítě.
- Spotřebiče - abychom si mohli dovolit plné využívání OZE, bylo by dobré, abychom mohli k udržení rovnováhy výkonů částečně kopírovat charakter jejich dodávky ve sféře spotřebičů. Proto se jeví jako žádoucí možnost regulovat odběr v maloodběru odepnutím nasmlouvaných zátěží - odložením méně důležitých procesů mimo špičku, např.: praní, ohřev TUV, klimatizace, chladnička, vytápění apod. Velkou inovací Smart Grid je, že tok výkonu může být i od zákazníka směrem do sítě - například z kogenerační jednotky, akumulátoru v elektromobilu nebo malé FVE.
- Akumulace - v obrázku popsána jako Storage - je důležitá pro regulaci odchylek mezi výrobou a spotřebou v síti. Prozatím umíme elektřinu účinně akumulovat v přečerpávacích vodních elektrárnách, do budoucna se počítá s akumulací výrobou vodíku a jeho přeměnou na elektřinu v palivových článcích, nebo zásobníky stlačeného vzduchu pod zemí. Malou, ale do budoucna možná významnou možností, výše zmíněnou, je možnost využití energie z akumulátoru elektromobilu - ve špičce by dodával cennou energii do sítě a v době nízké spotřeby by se nabíjel, mohl by tak majiteli i vydělávat peníze.



**Obrázek 19: Možnost akumulace energie ve formě stlačeného vzduchu**

- Řízení sítě - na toto budou kladeny extrémní nároky. Pro zachování stability bude potřeba vysoká rychlost reakcí na změny v ES, spolehlivost, bezpečnost provozu související se zabezpečením dat. Jeho bezvadná funkce je podmíněna přesným měřením a rychlým přenosem dat (naměřených a stavových údajů a řídicích povelů).

Ačkoli to možná není na první pohled vidět, Smart Metering a infrastruktura která se pro něj vyvine, jsou podmínkami a akcelerátory vzniku Smart Grid sítě. Ta je totiž v jádru založena na přesném měření a řízení spotřeby.



Obrázek 20: Porovnání tradiční distribuční sítě se Smart Grid

Tradiční distribuční síť	Smart Grid
<p>Radiální topologie</p> <p>Centralizovaná výroba elektrické energie</p> <p>Tok energie od výroby k zákazníkovi</p> <p>Jednosměrná komunikace</p> <p>Málo senzorů</p> <p>Žádné monitorování</p> <p>Manuální obnovování</p> <p>Náchylné na poruchy a výpadky</p> <p>Zákazník není začleněn</p>	<p>Síťová topologie</p> <p>Začlenění distribuované výroby</p> <p>Různé směry toku energie</p> <p>Obousměrná komunikace</p> <p>Kontroly a senzory v celém systému</p> <p>Samo-monitorování</p> <p>Poloautomatické obnovování</p> <p>Autoregenerace - Self Healing</p> <p>Adaptabilní ochrana a izolace problému</p> <p>Začlenění zákazníka</p>

Zajištění bezpečnosti dodávky elektrické energie v případě poruchy:

- Ostrovní provoz - při rozpadu elektrizační soustavy na jednotlivé ostrovy umí systém sítě Smart Grid za předpokladu existence decentralizovaných zdrojů elektrické energie v lokalitě autonomně fungovat a plně automaticky řídit vlastní provoz tak, aby nedošlo k výraznějšímu omezení dodávky elektrické energie odběratelům a ostrov splnil podmínky pro pozdější přirázování k ES. Systém umí řídit jak výrobu, tak spotřebu elektřiny.
- Self healing - samoobnovující se síť - tato funkce spočívá ve schopnosti sítě Smart Grid lokalizovat poruchu v síti a nezávisle na lidském faktoru najít novou cestu pro distribuci elektrické energie k zákazníkovi.

Použité zdroje: [1], [2], [9]



## 4. Využití registrů elektroměru

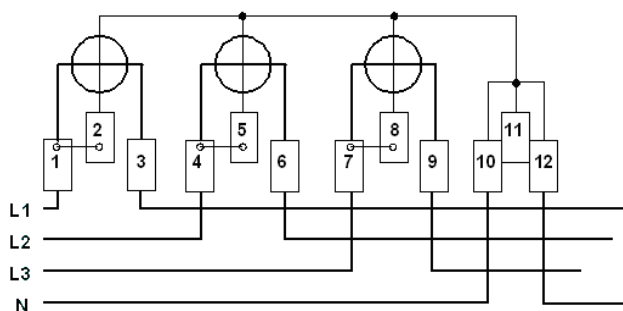
V této kapitole se chci zabývat současnými možnostmi využití funkcionalit moderních elektroměrů v sektoru maloodběru při využití maxima dostupných funkcí.

Využitím moderních elektroměrů sledujeme co možná nejlepší splnění cílů popsaných v následujících třech kapitolách.

### 4.1 Spolehlivá a přesná fakturace

Toto je samozřejmě nejdůležitější funkcí elektroměru, kterou po něm primárně požadujeme. Registrace odebrané energie ale může být zkreslena více faktory.

- Zapojení elektroměru - jde o nesprávné zapojení elektroměru, kdy jsou některé ze svorek prohozeny nebo nezapojeny. Třífázový elektroměr v přímém zapojení musí být zapojen následovně:

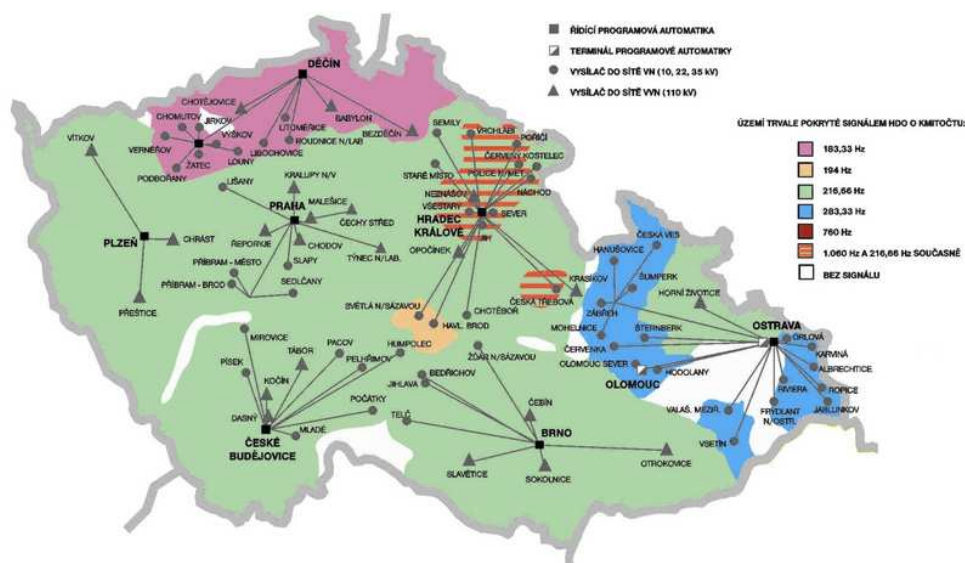


Obrázek 21: Přímé zapojení třífázového elektroměru

Naštěstí v tomto případě díky funkcím moderních elektroměrů lze chybu v zapojení odhalit a celkovou spotřebu přesně stanovit: elektroměr registruje odběr i dodávku v každé fázi zvlášť a jako výsledek na displeji zobrazuje součet absolutních hodnot těchto veličin a tento údaj se využívá i pro fakturaci:

$$A = |+A_{L1}| + |-A_{L1}| + |+A_{L2}| + |-A_{L2}| + |+A_{L3}| + |-A_{L3}|$$

- HDO - dalším úskalím přesné fakturace je HDO, tedy hromadné dálkové ovládání. Tento v ČR unikátní systém umožňuje dálkově přepínat nízký a vysoký tarif a ovládat připojené spotřebiče, pokud má odběratel vícetarifní elektroměr a sjednán vícetarifní odběr.



Obrázek 22: Pokrytí České republiky signálem HDO

Z dat z registrů inteligentního elektroměru jsme ve většině případů schopni odhalit nefunkční nebo špatně zapojené přijímače HDO. Toto můžeme zjistit porovnáním registrů s časy provozu jednotlivých tarifů.



Obrázek 23: Přijímač HDO

Přijímač HDO ovládá tarifní svorky elektroměru s následující logikou:

- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| T1 = svorka č.13 pod napětím      | T2 = svorky č.13 a 33 bez napětí |
| T3 = svorky č.13 a 33 pod napětím | T4 = svorka č.33 pod napětím     |

Vícetarifní programy z nabídky společnosti ČEZ:

Název	Doba provozu NT za den
Akumulace 8	8 hodin
Akumulace 16	16 hodin
Přímotop	20 hodin
Tepelné čerpadlo	22 hodin
Víkend	od pátku 12:00 do neděle 22:00

Systém HDO v České republice funguje již více než 25 let. Tento systém ale se zavedením Smart Meteringu bude s největší pravděpodobností nahrazen. Jeho úlohu převzou programovatelné kalendáře v elektroměrech nebo dálkové ovládání povely z datové centrály. Tím odpadnou náklady na údržbu zařízení HDO, odběry bude možno řídit po menších skupinkách a flexibilněji podle požadavků aktuálních provozních podmínek.

## 4.2 Zabránění neoprávněným odběrům elektřiny

Bohužel zákazníci se někdy snaží ušetřit na nákladech za odebranou elektrickou energii i jinak, než snížením spotřeby a způsobují tak distribučním společnostem škody v řádech sta milionů korun. Proti tomu jsou naštěstí statické elektroměry mnohem lépe chráněny než klasické založené na Ferrarisově principu. Nejen, že nejsou tak snadno ovlivnitelné, ale mohou snahy o neoprávněnou manipulaci signalizovat.

Elektroměry jsou teplotně nezávislé a nelze je ovlivnit ani magnetickým polem, na což mají i senzor. Další senzor – mikrosplínač - chrání svorkovnici, takže pokus o přepojení svorek je také indikován. Ale ani po přehození svorek není přesnost měření ovlivněna - elektroměr při výpočtu energie počítá absolutní hodnoty přenesené energie, jak dodávky, tak odběru. Ale v registrech můžeme dodávku, a tedy i přehození svorek, dohledat. Další možností dříve bylo odpojit napěťové svorky u třífázového odběru, ale výpadek napětí elektroměr registruje i v jednotlivých fázích a jako takový je podezřelý, protože dnes je standardem používat před jističem výhradně trojpólové jističe, které vypínají všechny fáze najednou. Dalším neduhem je použití vyšší hodnoty jističe před elektroměrem než je smluvená, což způsobuje únik na paušální platbě. Tento můžeme odhalit z krátkodobých maxim odběru v jednotlivých fázích. Snaha ovlivnit HDO a odebírat pouze v nízkém tarifu bude odhalena podle metody výše.

## 4.3 Minimalizace výjezdů k elektroměrům

Toto je velice důležitá položka pro oddělení měření distribuční společnosti, protože každý výjezd a úkony technika na místě stojí distribuční společnost nemalé prostředky. Elektroměr je stanovené měřidlo a podléhá ze zákona přezkoušení funkčnosti. Doba, po kterou je možné elektroměr považovat za vyhovující, se jmenuje lhůta ověření. Ověřením stanoveného měřidla se potvrzuje, že měřidlo má požadované metrologické vlastnosti.

Doby platnosti ověření (definuje vyhláška MPO č. 345/2002 Sb.):

Indukční elektroměry vyrobené do 31.12.1989

- |                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| a) Pro měření v přímém zapojení   | 10 roků |
| b) Pro měření v nepřímém zapojení | 5 roků  |



Indukční elektroměry vyrobené po 1.1.1990

a) Pro měření v přímém zapojení	16 roků
b) Pro měření v nepřímém zapojení v úrovni NN	12 roků

Statické elektroměry

a) Pro měření v přímém zapojení	12 roků
b) Pro měření v nepřímém zapojení v úrovni NN	12 roků

Pro statické elektroměry je lhůta ověření nastavena na 12 let - v ideálním případě je tedy nutné zákazníka navštívit právě jednou za 12 let a provést výměnu elektroměru. Do budoucna se budou doby ověření statických elektroměrů pravděpodobně prodlužovat, podle aktuálních návrhů se budou ověřovat náhodně vybrané kusy ze sérií a pokud vyhoví, bude lhůta ověření prodloužena o 5 let.

## 4.4 Využití dat pro distribuci

Další možností využití inteligentních elektroměrů je sběr informací, které mohou sloužit distribuční společnosti k monitorování stavu sítí. Elektroměry mohou registrovat:

- monitorování kvality elektřiny - umožňuje distribuční společnosti získávat informace o kvalitě elektrické energie dodávané zákazníkům. U napětí nás zajímá hlavně jeho velikost, podíl vyšších harmonických event. flicker. Tyto údaje umožní z dlouhodobého hlediska zvyšovat kvalitu elektrické energie dodávané zákazníkům. Elektroměry pro maloodběratele nejsou schopny provádět měření kvality podle platné normy (ČSN EN 50160), neumí totiž díky levnějším procesorům a menším pamětem naměřené průběhy dobře vyhodnotit. Také předávací místo není elektroměr, ale konec domovní přípojky, proto při současné legislativě elektroměry pro průkazné měření kvality nikdy použít nepůjde. Na druhou stranu je ale třeba dodat, že pokud elektroměr chybu kvality signalizuje, pak je jisté, že odběrné místo problémy s kvalitní dodávkou opravdu trpí
- výpadky dodávky elektřiny - při poruchách na vedení umožní informovat distribuční společnost okamžitě a může tak zkrátit dobu do opětovného obnovení dodávky. Vysoký počet výpadků také signalizuje špatný stav sítě a údaje z inteligentních elektroměrů mohou být také podklady při plánování oprav a rozšiřování sítí
- nesymetrie odběru - umožní distribuční společnosti odhalit silně nesymetrické odběry a jejich přepnutím na lokálně méně vytíženou fázi umožní snížit ztráty v distribučních oblastech.
- odběrové profily - jejich znalost umožní distribuční společnosti lépe poznat chování odběratelů a pomůže optimalizovat chod distribuční soustavy.

Použité zdroje: [3], [6], [11]

## 5. Zpracování naměřených dat

Pro práci s daty z registrů elektroměrů je třeba data rozlišit podle počtu tarifů a fází. Pro lepší práci s daty vhodné do souboru s daty z registrů doplnit data z databázového systému, abychom měli jednodušší práci s daty. Prvotním porovnáním zjistíme, zda ID elektroměru z databázového systému odpovídá ID z registru. Tím zajistíme, že budeme porovnávat data ze správného přístroje.

Následně můžeme přikročit k vyhodnocování dat. Toto nám může přinést informace o:

- špatné funkci elektroměru
- nefunkčním HDO
- špatném zapojení elektroměru
- podezření na neoprávněný odběr
- kvalitě elektrické energie.

Zjišťování těchto informací provádíme porovnáváním dat z registrů elektroměru a databáze, kontrolními součty registrů, zjišťováním zaplněnosti/nezaplněnosti registrů.

### 5.1 Registry moderních elektroměrů

Registry elektroměrů jsou oblastmi interní paměti elektroměru, do kterých elektroměr ukládá určité údaje. Tyto údaje následně můžeme z elektroměru pomocí dálkové komunikace získat, v paměti je adresujeme pomocí kódu OBIS uznaného evropskými normami IEC 62056-61, v současné době ve verzi 2.3 z roku 2005. Tento kód vychází se staršího systému kódování EDIS (Energy Data Identification System), který byl rozšířen pro odčítání více typů médií.

Kód OBIS je tvořený sekvencí šesti po sobě jdoucích znaků A.B.C.D.E.F.:

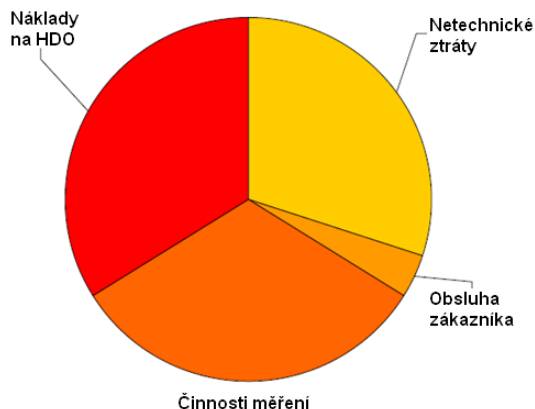
- A- udává typ měřené energie 1...elektrina 5...chlazení 6...vytápění 7...plyn 8...voda
- B- číslo měřeného kanálu- například při měření z více zdrojů najednou
- C- může mít význam rozlišení objektů nebo informovat o jednotce měřené veličiny
- D- označuje metodu měření a zpracování fyzikálních veličin
- E- určuje tarif (sazbu) měření, může být až 64 tarifů
- F- určuje účtovací období naměřené veličiny, pokud se neužívá F=255.

Distribuční firma může při objednávce nastavení a pojmenování registrů změnit, aby byly kompatibilní se stávajícím systémem, nebo aby co nejlépe splňovaly její požadavky.

Údajů je velké množství - týkají se vlastního elektroměru - sériová čísla, data a času, minulých odečtů, zaznamenaných hodnot, výpadků napětí, pokusů o napadení, apod. Ne všechny údaje lze ale z registrů vyčíst - některá z dat jsou přístupná pouze z datové centrály - tyto vznikají až výpočtem v počítači centrály.

## 5.2 Pilotní projekt Smart Meteringu společnosti ČEZ

Projekt AMM se začal připravovat v roce 2006 analýzami náročnosti, financí, možných přínosů a rizik.



Obrázek 24: Vyčíslení přínosů z nasazení Smart Meteringu

99% předpokládaných přínosů bylo určeno v těchto oblastech:

- Náklady na HDO - AMM může ovládat více tarifů, a to bez přidání nákladů, HDO by bylo postupně nahrazeno
- Netechnické ztráty - eliminace neoprávněných odběrů po instalaci chytrých elektroměrů
- Činnosti měření - úspora za běžné i mimořádné odečty
- Obsluha zákazníka - jednodušší změna tarifu, odpojení při neplacení apod.

Pro pilotní projekt byly vybrány 3 obce v blízkosti ČEZ Měření (Hradec Králové) s rozdílnou povahou sítí a rozmístěním odběrů a byly použity 3 různé technologie od různých dodavatelů.



Obrázek 25: Lokality nasazení pilotního projektu

Popis vypraných lokalit a instalací:

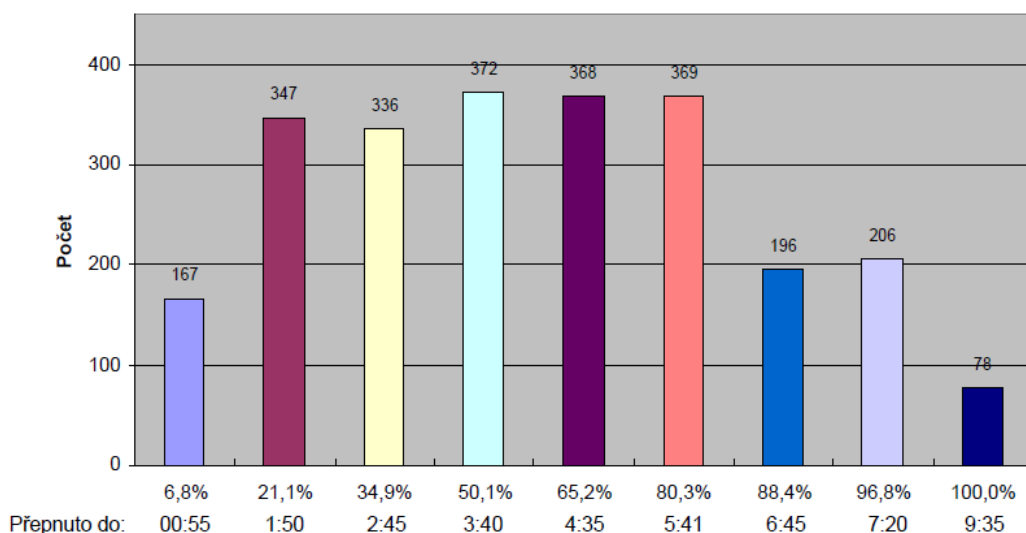
- Hradec Králové - kabelové a vrchní vedení, bytové a rodinné domy, 840 odběrných míst, 3 DTS, technologie PLC+RF, vzdálené odpojení/připojení, HDO.
- Chrudim - kabelové a vrchní vedení, rodinné domy, 620 odběrných míst, 3 DTS, technologie PLC, vzdálené odpojení/připojení, HDO.
- Polička - kabelové a vrchní vedení, rodinné domy, 480 odběrných míst, 4 TS, technologie PLC, HDO.

Použitá komunikace:

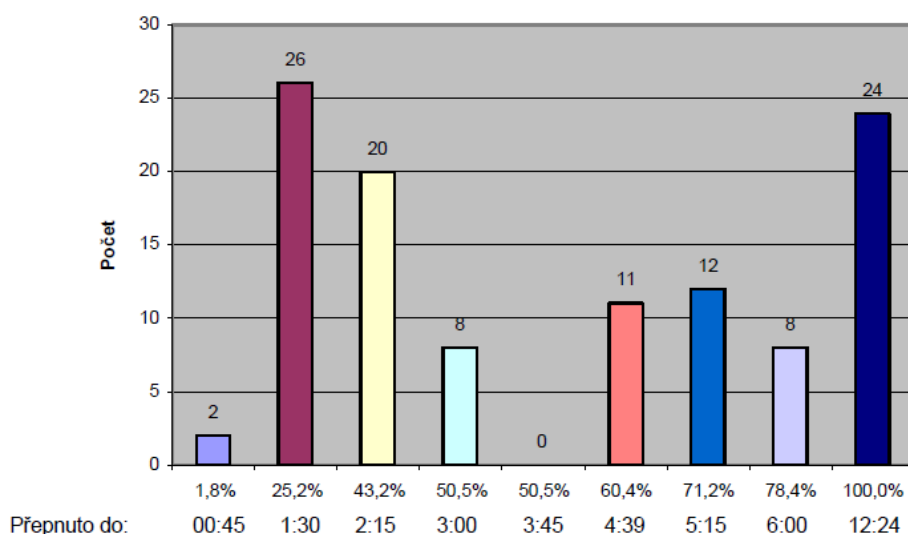
- PLC - Cenelec pásmo A
- RF - rádiová komunikace na frekvenci 868 MHz

Provoz systému:

- Latence výčtu registrů při dotazu na jednotlivý elektroměr
  - PLC - střední hodnota: cca 1 minuta, maximálně: jednotky minut
  - RF - střední hodnota: cca 1 minuta, maximálně: jednotky minut
- Latence přepnutí OM jednotlivý elektroměr (OM NO/OFF, blokování spotřebičů)
  - PLC - střední hodnota: desítky sekund, maximálně: jedna minuta
  - RF - střední hodnota: cca 1 minuta, maximálně: dvě minuty
- Latence výčtu registrů při dotazu na elektroměry hromadně (100-150 OM/TS)
  - PLC - střední hodnota: 15-240 minut, maximálně: jednotky hodin
  - RF - střední hodnota: 60-300 minut, maximálně: jednotky hodin
- Latence přepnutí OM elektroměry hromadně (OM NO/OFF, blok. spotře.) (100-150 OM/TS)



**Obrázek 26: PLC - střední hodnota: jednotky minut, maximálně: cca 10 minut**



**Obrázek 27: RF - střední hodnota: jednotky minut, maximálně: cca 12 minut**

## 5.3 Datová centrála

Datová centrála je soubor software, který může běžet samostatně nebo sdíleně na serveru. Jejím úkolem je sběr a zpracování dat z chytrých elektroměrů v síti, a to ze všech technologií komunikace - PLC i RF.

Software datové centrály je formou relační databáze - zákazníky je možné v systému třídit podle kritérií, například tarifu nebo trafostanice, které je napájejí. Každý zákazník má pod sebou měřicí body, které odpovídají odběrným místům. Přibližně 90 % zákazníků má právě jedno odběrné místo a jejich adresa se většinou shoduje s adresou fakturační. Každé odběrné místo má tzv. data pointy - sledované údaje o odběrném místě - registrech elektroměru, údaje o napadení, 15min profily apod. Tyto data pointy jsou plněny tzv. device - zařízeními, elektroměry u zákazníků. Ačkoli elektroměr může sledovat velké množství údajů, v datové centrále se načtou pouze ty, které jsou označeny jako data pointy.

Z datových koncentrátorů chodí data ve velikostně úsporném formátu archivu ZIP, aby zbytečně nezvyšovala náklady na komunikaci, protože všechny datové koncentrátoři jsou připojeni bezdrátově pomocí GPRS. Data jsou následně rozbalena na soubory z jednotlivých elektroměrů.

Z elektroměru přicházejí hrubá data ve formátu IEC 1107 - obdoba jednoduchého textového souboru s přesným formátem, standardizovaná a používaná v celé EU. V hlavičce se nejprve elektroměr identifikuje a pak následuje sekvence s daty: nejprve identifikátor, za ním hodnota. Program v datové centrále následně tyto soubory zkontroluje, vyčte z nich data a uloží je do data pointů v databázovém systému.

Z datové centrály je také možné jednotlivě nebo hromadně dálkově připojit/odpojit odběrné místo a ovládat blokování spotřebičů podmíněných tarify a tarify přepínat.

Datová centrála podle nastavení a počtu měřicích míst provede automaticky desetitisíce operací denně, účinnou funkcí je automat, který inteligentně poptává data, která v příchozích souborech chybějí, jsou nečitelná (poškozená) nebo chybná.

V centrále jsou k dispozici alarmové zprávy z elektroměrů - o možném narušení, výpadcích napětí, přehození fází, sundání krytů apod. Tyto alarmy se vyhodnocují a na jejich odstranění se pracuje. Některé jsou způsobené provozními chybami a neopakují se. Alarmy indikující napadení elektroměru se neustále opakují a zrušit je lze pouze vynulováním příslušného registru v elektroměru.

Automaticky jsou generovány zprávy o úspěšnosti odečtů z elektroměrů z jednotlivých koncentrátorů u distribučních trafostanic. Zatímco u PLC je úspěšnost dlouhodobě velmi dobrá, u komunikace RF, zvláště při stahování objemnějších odběrových profilů zatížení, je situace horší.

## 5.4 Parametrizace elektroměru

Parametrizace elektroměru předurčuje budoucí provoz a některé vlastnosti elektroměru. Při parametrizaci bereme v úvahu výbavu a provedení elektroměru i jeho budoucí nasazení. Prvotní (výrobní) parametrizaci provádí výrobce podle zákaznického listu, další parametrizace pak probíhá přes optické rozhraní nebo PLC/RF, podle typu připojení elektroměru, nemusíme být u něho fyzicky přítomni.

Při parametrizaci nastavujeme tyto hlavní položky:

- Množství zobrazených údajů na displeji elektroměru, perioda jejich přepínání
- Ovládání relé zátěže - trvale ON/OFF, přepínání dle tarifu
- Nastavení vypínacího výkonu - nastavení limitního výkonu a případného časového zpoždění
- Nastavení sledování parametrů kvality - dovolené poklesy nebo překročení napětí, překročení nastaveného proudu
- Data ukládaná do registrů - možno nastavit více než 1000 registrů
- Ukládané profily, měřené kanály - lze měřit až 8 kanálů (veličin) a v periodě 5 minut - 1 den je ukládat do paměti
- Parametry pulzního vstupu - z plynoměru nebo vodoměru
- Přepínání tarifů - kalendářem nebo programem, interním HDO, externím HDO
- Editujeme nastavení vnitřních kalendářů
- Nulování registrů (mimo sum energií)
- Nastavení kontrolní metrologické LED - počet impulzů na kWh

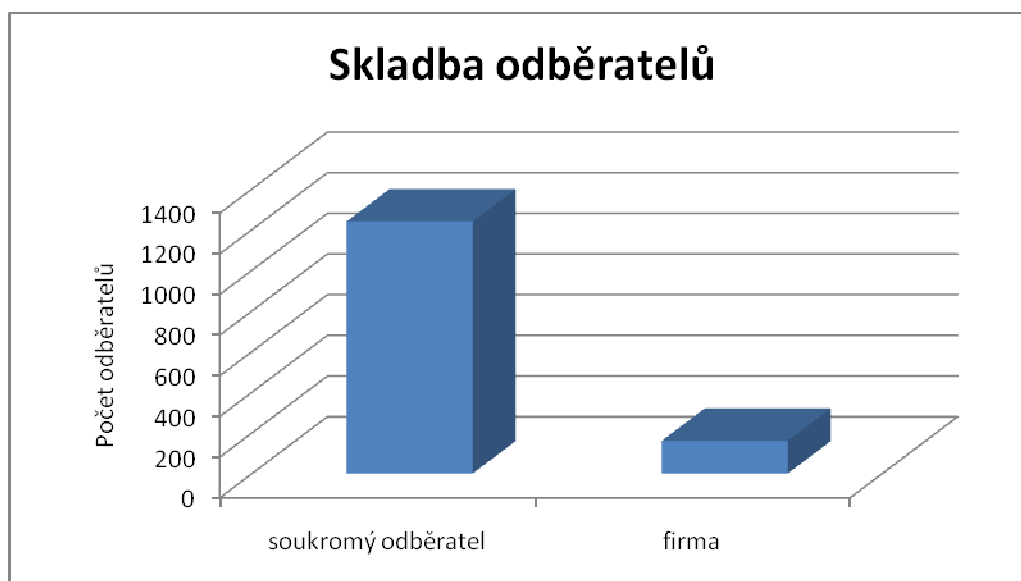


**Obrázek 28: Optická sonda pro místní parametrizaci a odečty elektroměru a statický elektroměr s kroužkem pro přichycení sondy (sonda je držena magneticky)**

Elektroměry se nakupují v jednotarifním nastavení (vyhovuje pro 2/3 odběrných míst), pokud elektroměr budeme chtít používat jako vícetarifní, po propojení s centrálou jej na dálku naparametrizujeme.

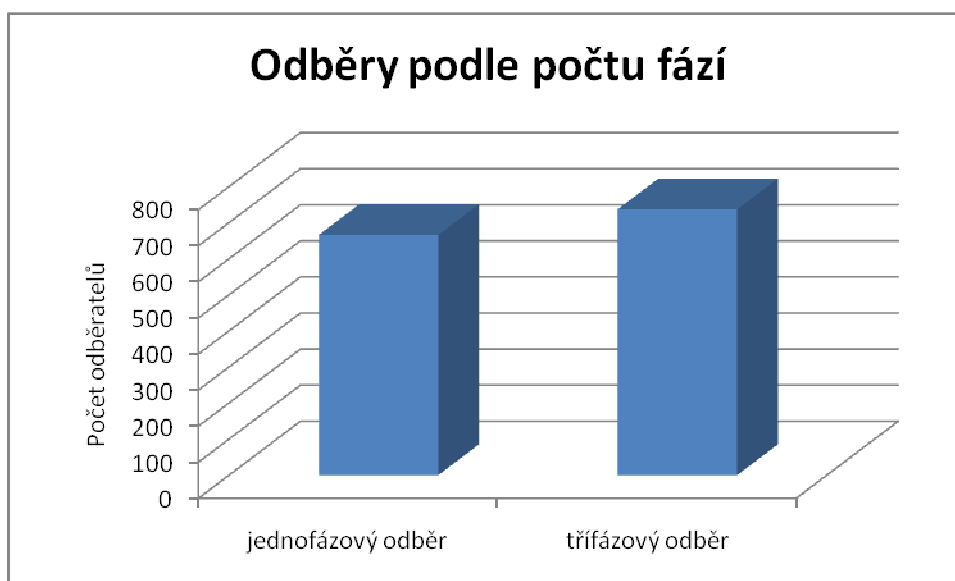
## 5.5 Zpracování dat z pilotního projektu Smart Metering

Ke zpracování byla přijata data z registrů elektroměrů z 2 odečtů s půlročním odstupem z více než 1400 odběrných míst. V grafech níže je možné nalézt bližší podrobnosti o skladbě zákazníků a parametrech sjednaných odběrů.



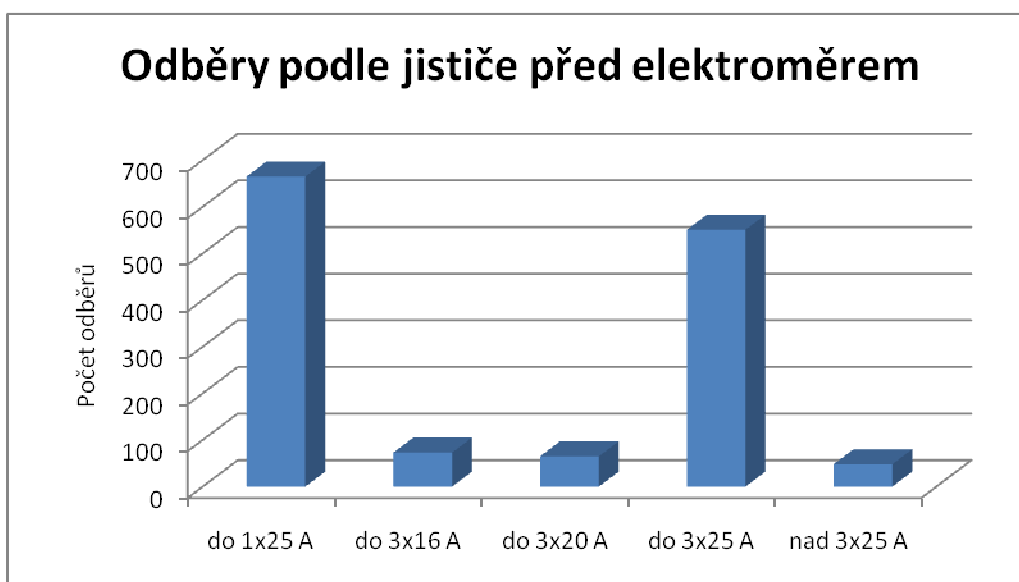
**Obrázek 29: Skladba odběratelů**

V pilotním projektu byli zapojeni hlavně domácí odběratelé a malé firmy v oblastech uvedených v kapitole 5.2.



**Obrázek 30: Odběry podle počtu fází**

Díky velkému podílu odběrů z menších měst a vesnic převažují třífázové odběry - napojeny rodinné domy. Ve velkých aglomeracích naopak převažují odběry jednofázové - velký počet odběrů v bytových domech.

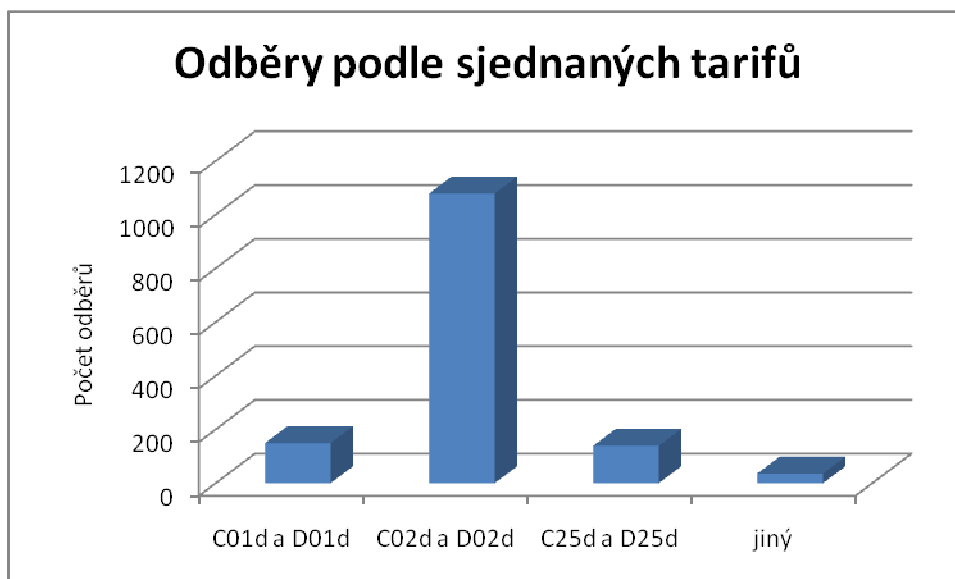


**Obrázek 31: Odběry podle jističe před elektroměrem**

Na grafu výše můžeme dobře pozorovat složení odběrů dle použité hodnoty jističe před elektroměrem. V České republice se používají tzv. jističové tarify, jednou ze složek platby za elektřinu

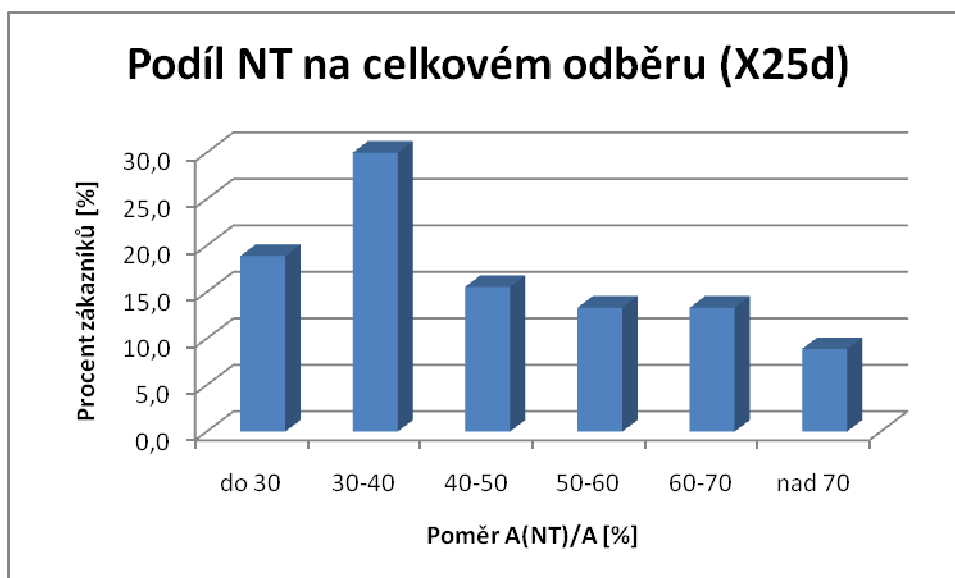


je právě platba za rezervovaný příkon podle hodnoty jističe. Jističe se používají typu B, v odůvodněných případech je po dohodě možné použít typ C.



Obrázek 32: Odběry podle sjednaných tarifů

Jak je vidět z rozložení tarifů, drtivá většina odběratelů ve vzorku (přes 86 %) využívá jednotarifní sazbu. Tarify označené počátečním písmenem D jsou určeny pro domácnosti, písmeno C je vyhrazeno pro tarify určené menším firmám. Jednotarifní programy X01d mají menší paušál, ale větší cenu za MWh, tarify X02d naopak. 10 % odběratelů má sjednanou sazbu X25d, která má název Akumulace 8. Tito odběratelé mají doma akumulární spotřebiče, nejčastěji bojler pro ohřev TUV a nízký tarif jim platí po dobu 8 hodin denně. Zbýlé 2,5 % odběratelů mají sjednán jiný z tarifů, určený například pro topení přímotopy, tepelnými čerpadly nebo víkendový provoz.



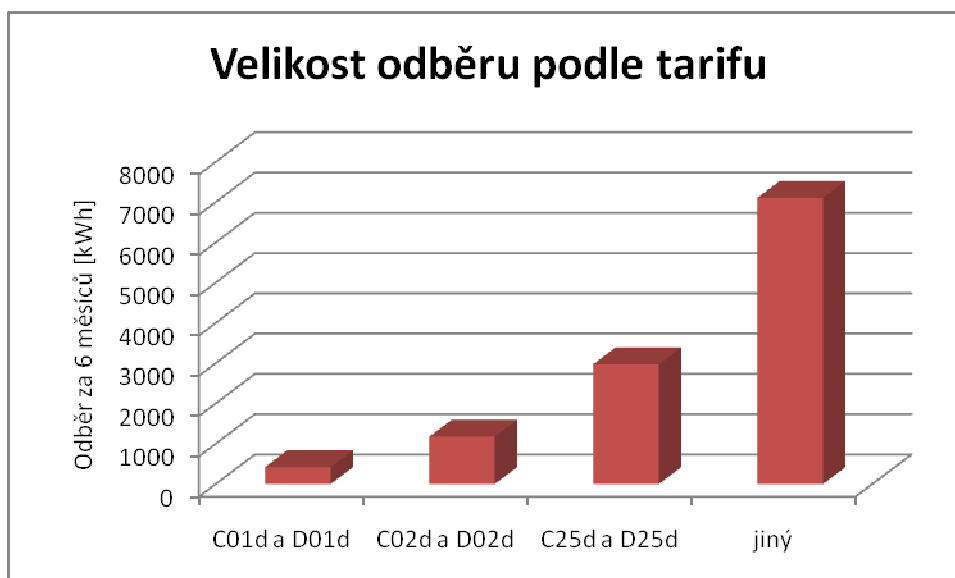
Obrázek 33: Podíl NT na celkovém odběru (X25d)

Graf výše je z naměřených dat spotřeby za poslední půlrok od zákazníků s tarify C25d a D25d (doba platnosti NT 8 hodin za den). Ukazuje jak efektivně zákazníci využívají nízké ceny za energii v NT. Čím je podíl energie odebrané v době platnosti nízkého tarifu vyšší, tím nižší je výsledná cena za odebranou energii pro zákazníka. Průměrná hodnota byla 44,2 %.

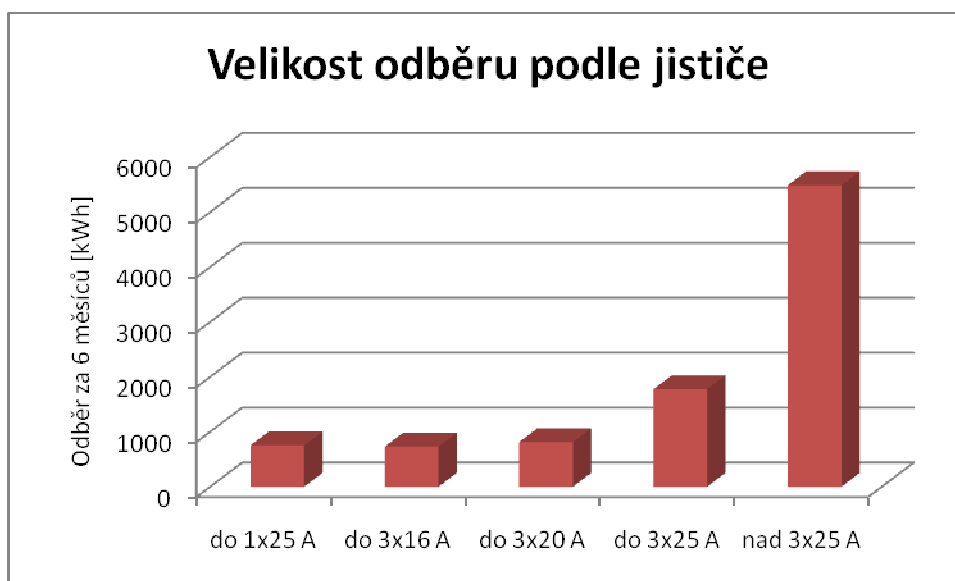


**Obrázek 34: Využití hlavního 3f jističe**

Na grafu výše můžeme vidět využití třífázového jističe ve čtvrt hodinovém maximu v procentech. Průměrná hodnota je 15,8 %, což vypovídá o mnohdy předimenzované hodnotě hlavního jističe před elektroměrem. Může to ale být zapříčiněno i dlouhou periodou měření - 15 minut je doba, za kterou mohou energeticky náročné procesy pominout - nahřívání trouby, varné plotýnky, rychlovarná konvice apod.



**Obrázek 35: Velikost odběru podle tarifu**



**Obrázek 36: Velikost odběru podle jističe**

Na grafech výše je možné vidět odběry zákazníků podle zvoleného tarifu a výše rezervovaného příkonu. Zatímco tarif si odběratelé zvolili většinou správně, hodnotu jističe má hodně domácností vyšší, než by skutečně potřebovali, což se projevuje na výši jejich paušálních plateb za elektřinu.

Při ověřování správné funkce elektroměrů při součtu  $A(VT) + A(NT) = A(\text{celkové})$  nebyla zjištěna žádná chyba. Při kontrole registru „dodávka“ byla zvýšená hodnota zaznamenána pouze u jednoho elektroměru ze zkoumaného vzorku, a to 164 kWh.

Z grafů výše lze vidět, že z registrů a profilů inteligentních elektroměrů lze získat množství zajímavých i užitečných dat o odběrech, ale i o chování zákazníků. To může distribučním společnostem pomoci zkvalitňovat poskytované služby a nabízené produkty sladit s chováním a požadavky odběratelů.

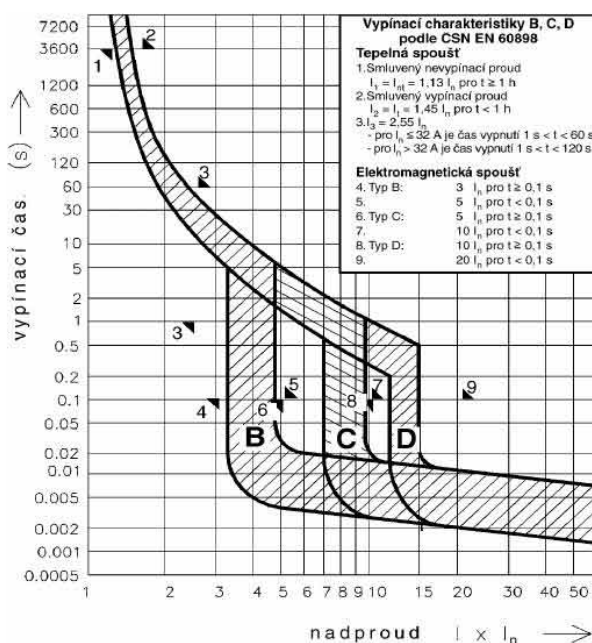
Použité zdroje: [1], [2], [5], [6]

## 6. Doporučení pro další provozování chytrých elektroměrů

V této kapitole se budu snažit poskytnout návrhy, které by mohly vylepšit práci současného pilotního projektu, možná i najít uplatnění v budoucím „ostrém“ nasazení. O jejich praktickém uplatnění je samozřejmě ještě nutné vést diskuzi, zda-li jsou v současnosti technicky realizovatelné, přínosné a ekonomicky akceptovatelné.

### 6.1 Nastavení elektroměru

- V pilotním projektu je dle mého názoru třeba získat co nejvíce dat, aby byl zajištěn dostatek podkladů pro budoucí analýzu. Jedině tak je možné přijít na ty položky, které jsou zajímavé, a odhalit chyby, které mohou tkvět v zapojení, špatné funkci elektroměru, sítě nebo závadném chování zákazníka. V pilotním provozu není ještě datová síť tolik zatížena a na tyto přenosy je kapacita, která možná při větším nasazení již nebude k dispozici, stejně tak vyhodnocení je při rozumném počtu položek snadnější. Analýzou těchto dat by mělo být určitelné, které registry má nadále smysl sledovat a které nikoli, přičemž po instalaci více než 3,5 milionu elektroměrů v budoucnu bude cenný každý uspořený čas při přenosu a zpracování, stejně jako místo pro uložení dat.
- Nastavení výkonového omezení - elektroměry mají možnost nastavit výkonové omezení a časové zpoždění, po němž vypnou odběr. Při parametrizaci se podle charakteristiky předepsaného jističe B dá tato doba a čas stanovit, aby zákazníci nepřekračovali smluvně sjednané hodnoty. V praxi je totiž mnohdy složité ověřit hodnotu jističe, popř. zákazník by si jistič mohl vyměnit bez indikace události. Parametrizace by se prováděla podle hodnoty jističe z databáze.



Obrázek 37: Vypínací charakteristiky jističů

Možnosti:  $1,45I_n$  při  $t=1h$  nebo  $2,25I_n$  při  $t=60s$  pro  $I_n \leq 32A$  a  $2,25I_n$  při  $t=120s$  pro  $I_n \geq 32A$ ;  
Pak  $P=U \cdot I \cdot \cos\phi$  [W] nebo  $P=3 \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$  [W], kde  $U$  je 230V resp. 253V (s tolerancí  $U+10\%$ )

Tato funkce elektroměrů může být využitelná i v krizových stavech, kdy můžeme všechny elektroměry do cca 5 minut přeparametrizovat a dovolit tak odběratelům dočasně využívat nižší výkon (havarijní).

- Nastavení registrace překročení proudu v jednotlivých fázích podle pravidla viz výše. Výše uvedený postup bude totiž účinný hlavně na jednofázové odběry, protože je velmi nepravděpodobné, že by odběratel třífázově odebíral celkově min.  $P=1,45 \cdot 3 \cdot 230 \cdot 25=25$  kW pod dobu např. jedné hodiny. Třífázové odběry bude tedy lépe sledovat po fázích.
- Nastavení periody ukládání profilů na 10 minut - v současné době mnoho elektroměrů registruje profily v intervalu 5 nebo 15 minut, protože se tyto časové úseky používají pro vyhodnocování průmyslových odběrů. V současnosti platná norma definující kvalitativní požadavky na dodávku elektřiny v síti nn ČSN EN 50160 ale požaduje měření napětí nejčastěji v časovém intervalu 10 minut. Proto bych periodu záznamu údajů do profilů zvolil také 10 minut. Elektroměr sice, jak bylo dříve řečeno, nelze průkazně použít pro monitoring kvality, ale jako orientační ukazatel pracovat může. V případě případných reklamací ze strany zákazníků by bylo možné nastavit formát výstupu z datové centrály ve formě zprávy o kvalitě dodávky a mnoha zákazníkům by tento orientační výsledek mohl stačit a nemusely by se všechny reklamace řešit nákladnými výjezdy a přesnými měřeními drahými analyzátory. Při ukládání s periodou 10 minut ve třech měřených kanálech postačuje vyčítání profilů jednou za týden. Nastavení ukládání při zaplnění paměti zvolit přepisovat nejstarší údaje.
- Ukládané profily - zatímco dnes se sledují nejčastěji pouze profily činného výkonu, rozšířil bych zaznamenávané údaje o napětí a jalovou energii. Motivaci pro ukládání profilu napětí popisují v odstavci výše, jalovou energii bych sledoval kvůli monitorování účinníku. V současné době nejsou na účinník kladeny u domácností žádné požadavky, ale domácnosti provozováním některých spotřebičů mohou zvyšovat ztráty v síti a snižovat jejich přenosové kapacity. Příkladem takových spotřebičů jsou spínané zdroje bez korekce účinníku PFC (Power Factor Correction), u kterých je účinník  $i$  0,6. Například 250W zdroj s  $\cos\phi=0,6$  zatěžuje síť zdánlivým výkonem 417 VA. Účinník z profilu vypočítáme v desetiminutových hodnotách jako podíl činného a zdánlivého výkonu. Údaje o účinníku a jím způsobených ztrátách v síti by po vyhodnocení mohly sloužit pro obeslání uživatelů se špatným účinníkem s výzvou o nápravu, event. jako podklad budoucích změn v energetické legislativě.
- Alarmy - jako alarm vyžadující okamžitou pozornost a který se aktivně přeneso do datové centrály, bych nastavil:
  1. Odkrytí elektroměru - potenciálně velmi nebezpečné, protože by zákazník mohl udělat by-pass proudových obvodů elektroměru, který lze zjistit jen velmi obtížně.
  2. Napadení magnetickým polem - bez nebezpečí, napovídá o úmyslu odběratele (NEO)
  3. Tok proudu bez napětí - vada elektroměru nebo přerušení derivačních propojek

4. Přehození toku energie - bez nebezpečí, napovídá o úmyslu odběratele (NEO)
  5. Neoprávněná snaha o místní komunikaci, parametrizaci - indikuje snahu odběratele napadnout SW elektroměru. V současnosti sice nepravděpodobné, do budoucna se ale jistě takovéto pokusy objeví.
  6. Výpadky delší než 3 minut, protože do této délky jde pouze o „krátkodobé přerušení napájecího napětí“ (podle ČSN EN 50160) a takové může vznikat i při manipulacích.
  7. Všechny chyby elektroměru - baterie, paměť atd. - signalizuje závadu měřicího zařízení
- Používat pro řízení odběrů a přepínání tarifů vnitřní kalendář elektroměru - díky tomu se vyhneme potížím s funkcí HDO a to jak pro nedostupnost signálu nebo pro manipulaci zákazníkem (odpojení řídicí fáze). Tyto profily lze navíc kdykoli editovat nebo dle potřeby přejít na ovládání z datové centrály.
  - Řízení pomocí interního kalendáře elektroměru může způsobit snížení přesnosti a dynamiky regulace oproti HDO, proto bych v takovém případě navrhl rozdělení zákazníků do skupin podle skutečně spínané zátěže. Zákazníci s nízkým spínaným odběrem by byli řízeni podle kalendáře, zákazníci s většími odběry by byli řízeni povely z datové centrály podle okamžitých požadavků energetické soustavy.

## 6.2 Využití dat

- Minimalizace ztrát v síti - při úvaze nad praktickým a inovativním využitím dat z elektroměrů mě napadla možnost použít data pro minimalizaci ztrát v rozvodu. Elektroměr umí s dostatečnou přesností měřit úbytek napětí a ztráty jsou na tomto úbytku přímo závislé:

$$\overline{S} = 3 \cdot \Delta \overline{U}_F \cdot \overline{I}^*$$

Při napájení distribučních oblastí z různých transformátorů nebo částí sítě nelze vždy ztráty výpočtem přesně určit, protože tyto mohou být ovlivněny různou momentální kvalitou vedení, izolace a dalšími faktory. Nejprve bychom zaznamenali napěťový profil v délce jednoho týdne, poté bychom jiným zapojením změnili propojení sítě a po týdnu opět stáhli profil a porovnali ho s předchozím. Pokud by došlo k nárůstu napětí, znamenalo by to i snížení ztrát a to, že nové propojení je ekonomicky výhodnější. Tato úvaha ale obsahuje řadu zjednodušení (stejná napětí napáječů, stejné procentní ztráty v transformátorech apod.) a pro praktickou realizaci by ji bylo třeba podrobněji analyzovat.

- Vyhodnocování účinnku a návrh kompenzace - díky umístění přesných elektroměrů k odběratelům by se z jejich spotřeby jalové energie dalo vypočítat kompenzační zařízení, které by se mohlo pevně připojit na určitá místa v síti bez rizika překompenzace. Tímto zařízením by se snížilo množství jakové energie přenášené distribučním vedením a tím i ztráty. Snížení ztrát takovýmto způsobem není příliš markantní, ale z dlouhodobého hlediska může být zajímavé.

- Ověření správné funkce elektroměru a komunikace - provádět kontrolní součty energií v jednotlivých tarifech a fázích oproti celkové a časů provozu v jednotlivých tarifech oproti celkovému času za účelem ověření správné funkce elektroměru.
- Data pro distribuci - po dohodě s distribuční sekci společnosti předání relevantních souborů dat, které by jim mohly být užitečné při zkvalitňování dodávek a plánování rekonstrukcí sítí.

Navrhovaná data:

- Vysoký počet výpadků v oblasti (viz alarm 5), i v jednotlivých fázích
  - Napětí mimo rozsah  $\pm 10\%$  ve městech,  $\pm 20\%$  mimo města (z dat z profilu)
  - Rozdílné napětí ve fázích, poklesy ve fázích (indikuje lokálně přetížené fáze)
  - Přepětí s časovým razítkem- pro eliminaci spínacích přepětí
  - U vyspělejších elektroměrů zkrácení THD a flicker  $P_{lt}$ .
- Vyhodnocení podezření NEO - při spouštění pilotního projektu bylo vyměněno 2000 elektroměrů za nové, inteligentní a při tom byly nalezeny 2 neoprávněné odběry. Pokud každý tisíc odběr je neoprávněný při počtu 3,5 milionů odběrných míst společnosti ČEZ, jedná se o desítky milionů korun vzniklé škody ročně. Proto je odhalování těchto neoprávněných odběrů jednou z priorit při zvyšování efektivity dodávek elektřiny.

1. Alarmy - každý elektroměr, u něhož se signalizován alarm 1-4 (dle předchozí kapitoly) by měl být dále sledován. Navrhl bych proto zřídit v datové centrále složku, do které by byla vkládána odběrná místa podezřelá z neoprávněného odběru. Samozřejmě nelze vyjíždět za každým odkrytovaným elektroměrem, ale tyto odběry by měly být sledovány. Pokud by například byl na odběrném místě vyhodnocen úbytek spotřeby o více než 15% oproti minulému měsíci (možno si limitní hodnotu nastavit), bylo by odběrné místo přesunuto do zřízené složky nutný výjezd. Pokud by kryt elektroměru byl dlouhodobě otevřený, je nutné elektroměr fyzicky navštívit a kryt dotáhnout, protože právě jeho špatné dotažení je nejčastěji zdrojem těchto alarmů. Alarmy tohoto typu by ale nebylo dobré ignorovat, protože bychom tím přišli o kontrolu nad možným napadením měření.

## 2. Registry

- Počet výpadků po fázích - zvýšený počet výpadků první fáze indikuje snahu odběratele vyřadit z činnosti HDO a odebírat pouze v NT. Zvýšený počet výpadků naznačuje neoprávněný odběr.
- Provozní doby tarifů - lze porovnávat mezi sebou NT/VT nebo se sjednaným tarifem z databáze. Neadekvátní poměr provozních dob ukazuje špatně fungující HDO nebo zásah uživatele. Tento stav je určitě třeba řešit.
- Poslední parametrizace/počet parametrizací - pouze pro kontrolu, zda-li elektroměr nebyl přeparametrizován ve snaze změnit nastavení nebo snížit hodnoty registrů energií, kontrola tohoto registru dostačuje cca 1x za pololetí

- Maximální krátkodobě odebíraný výkon - více viz kapitola o nastavení. Indikuje výměnu jističe za jistič s vyšší proudovou hodnotou.
  - Nenulová dodávka energie - uživatel zaměnil proudový přívod za vývod ve snaze zkreslit měření, indikuje snahu odběratele o neoprávněný odběr.
3. Výpočet - výpočet ztrát v síti s využitím soudobého měření P, Q, U - díky možnosti soudobého odečtu P, Q, U (nejlépe po synchronizaci času s centrálou pro zajištění co nejlepší současnosti) při znalosti topologie sítě a přibližných vlastností vedení jsme schopni určit případné černé odběry s celkem velkou přesností. Nevýhodou této metody je, že by pravděpodobně nerozeznala neoprávněný odběr malého výkonu, protože by byl skryt v tolerancích měřidel a rozptylu parametrů vedení.

Nakládání s odběrnými místy podezřelými z neoprávněného odběru - elektroměry by se, jak již bylo uvedeno výše, automaticky zařadily do zvláštní složky nebo označily specifickou značkou, tak aby bylo možné jejich další sledování, po jakékoliv události z výše uvedených. U těchto elektroměrů by byla sledována spotřeba, a pokud by byl zjištěn pokles v porovnání s předchozím obdobím nebo stejným obdobím minulého roku, nebo po indikaci druhého alarmu nebo jiné podezřelé události, bylo by nutné odběrné místo navštívit a zkontrolovat jeho stav a správnou funkci elektroměru na místě.

V současné době není napadání statických elektroměrů běžné, takto složité elektronické zařízení není běžným uživatelem jednoduše ovlivnitelné. V budoucnu se ale i tyto pokusy objeví a bude důležité je rozpoznat. Nyní ale je třeba se více začít soustředit na jiné možnosti páchání neoprávněného odběru a to bypassem elektroměru, resp. napojením na neměřenou část sítě. I v této oblasti nám inteligentní elektroměry mohou být nápomocny, jak ostatně vyplývá z odstavců výše.



## 7. Nasazení moderních elektroměrů z pohledu netechnických ztrát

Rozdělení ztrát distribučních společností:

- ztráty technické - vznikají ve vedení a při transformaci elektřiny
- ztráty netechnické - zahrnují nepřesnosti měřidel, chybné zapojení a odečty, odběry pod hranicí citlivosti měřičů a neoprávněné odběry

Ztráty se podílejí na celkové distribuované elektrické energii asi 5-6 procenty. Z netechnických ztrát tvoří drtivou většinu právě neoprávněné odběry, které způsobují škody v řádech stovek miliónů korun ročně a promítají se i do koncových spotřebitelských cen. Proto je boj proti neoprávněným odběrům zvláště důležitý nyní v době hospodářské recese, kdy se jak zákazníci, tak distribuční společnosti snaží minimalizovat výdaje ze svých rozpočtů. Neoprávněným odběrem je ve smyslu zákona 458/2000 sbírky, Energetického zákona, neměřený odběr, kterým vzniká škoda provozovateli distribuční soustavy.

Možnosti realizace neoprávněného odběru byly v zásadě tyto:

- zásah do elektroměru - změna zapojení, úprava číselníku, brzdění kotoučku, apod.
- napojení se na neměřenou část sítě.

Metody odhalování neoprávněných odběrů do současnosti byly tyto:

- podezření při odečtu nebo výměně elektroměru
- nepravdivosti ve spotřebě, zejména její náhlý pokles
- udání.

V minulých dvou odstavcích jsem záměrně použil minulý čas, protože s příchodem chytrých elektroměrů se jak realizace tak metody odhalování neoprávněných odběrů změní.

- Zásah do elektroměru - již zdaleka nebude tak jednoduché elektroměr ovlivnit. Vymění-li uživatel přívod za vývod, bude elektroměr energii dále registrovat. Porovnáním provozních dob tarifů se skutečností můžeme zjistit manipulaci s HDO a odhalit odběratele, který chtěl odebírat elektřinu jen za nízký tarif. Zvýšený počet výpadků napětí signalizuje možnost manipulace s napěťovými vstupy, můžeme i porovnat s jinými elektroměry v oblasti. Elektroměr má senzory na snahu o ovlivnění magnetickým polem a odkrytování svorkovnice. Měřicí část elektroměru je opatřena úředními značkami a svorkovnice montážnímu plombami.

Zásah do SW elektroměru je chráněn HW - pájecími propojkami na DPS a i po jejich úpravě je k zásahu do SW elektroměru nutné mít šifrovací algoritmus a heslo. Tyto jsou tak chráněny, že je nelze zjistit ani z komunikace elektroměru s centrálou.

Charakteristiky statických elektroměrů jsou k vnějším vlivům prakticky netečné a nelze je ovlivnit. Moderní elektroměr je složité elektronické zařízení a jeho ovlivnění nebo úprava běžným odběratelem je prakticky nemožné.

- Napojení se na neměřenou část sítě - díky daleko větší citlivosti statických elektroměrů na nízké odběry (nízký náběhový proud  $\leq 15 \text{ mA}$ ) a jejich velmi nízké vlastní spotřebě (zlomky VA) je možné daleko přesněji stanovit měřený odběr v oblasti. Porovnáním s dodávkou do oblasti z DTS po odečtení ztrát v rozvodu je možné neoprávněné odběry daleko snáze lokalizovat. Bohužel samotné realizaci napojení na menšený přívod nelze zabránit.



**Obrázek 38: Neoprávněný odběr napojením na kabel před elektroměrem, venkovní vedení**

Velkou změnou v odhalování neoprávněných odběrů bude, že odečítání bude dálkové a výměny elektroměrů budou co 12 let, odpojení bude dálkové, takže fyzických návštěv na odběrném místě bude minimum. Mimo odhalení po udání se tak hlavním nástrojem vyhledávání neoprávněných odběrů stanou chytré elektroměry a jejich funkce. Důležité se také stane zpracování a vyhodnocení dat z elektroměrů. Při zpracovávání bude důležité nastavit citlivost podezření na neoprávněné odběry tak, aby nedocházelo ke zbytečným výjezdům techniků za účelem kontroly těchto podezření a zároveň bylo odhalování efektivní. Nastavení této citlivosti bude nutné doladovat za pomoci praktických zkušeností z provozu s větším zastoupením chytrých elektroměrů v distribuci.

Je jisté, že ze strany některých odběratelů bude snaha o realizaci neoprávněných odběrů i po výměně za moderní elektroměr pokračovat a budou se snažit nalézt nové cesty, jak „ušetřit“ na nákladech za elektrickou energii. Celkově se ale stane páchání neoprávněných odběrů náročnější, naopak budou snadnější na odhalení. Dá se očekávat, že po plošném nasazení inteligentních elektroměrů se počet neoprávněných odběrů rapidně sníží, klesnou škody jimi způsobené i náklady na jejich odhalování, což by se mohlo v budoucnu projevit i mírným snížením cen elektřiny.

Použité zdroje: [5]

## 8. Závěr

Je evidentní, že nasazení chytrých elektroměrů bude velikým přínosem.

Přínosem pro spotřebitele, koncové maloodběratele elektřiny, které nový systém více angažuje v problematice. I ti méně technicky znalí budou moci sledovat svoji spotřebu a jednoduše tak zjistit, kolik za elektřinu v příštím vyúčtování zaplatí, motivuje je to ke spoření a podle pilotních projektů v zahraničí se jejich spotřeba sníží o 5-15 %. Širším výběrem z tarifů se jim rozšíří nabídka, z níž si budou vybírat a budou mít větší možnost na výdajích za elektřinu šetřit. Snad to spotřebitele motivuje i k širšímu využívání elektřiny, jako čistého a ekologického zdroje energie, například pro vytápění, ohřev TUV a do budoucna i elektrickou mobilitu.

Obrovským skokem budou inteligentní elektroměry pro distribuční společnosti. Jako největší benefit uvedme markantní snížení nákladů na odpočty, jejich jednoduchost a rychlost. Neoprávněných odběrů ubude a zjednoduší se jejich odhalování, což povede k úsporám, stejně tak jako snížená vlastní spotřeba inteligentních elektroměrů a jejich vyšší přesnost i delší cejchovní lhůty. Registry elektroměrů jsou zdrojem mnoha informací, které mohou společností zpřístupnit široké spektrum informací o stavu sítí i kvalitě dodávané elektřiny a budou je rychle informovat o nastalých výpadcích, což povede k jejich rychlejší eliminaci. Do budoucna jsou tyto elektroměry příslibem pro budování multiutilitních řešení a sítí Smart Grid.

Moje práce přináší souhrn aktuálních informací o chytrých elektroměrech, jejich architektuře, instalaci. Komunikace a její problémy je další kapitolou, na kterou navazuje zabezpečení. Velká pozornost v práci je věnována neoprávněným odběrům a hlavně novým možnostem jejich odhalování. Registry elektroměrů jsou pak hlavním nástrojem tohoto odhalování a nabízejí i množství dalších užitečných a zajímavých informací.

Inteligentní elektroměry ve všech parametrech překonávají své předchůdce založené na Ferrarisově principu. Navíc přidávají mnoho cenných nových funkcí a jejich nasazení po nás žádá i Evropská unie. Proto jejich uvedení do běžného provozu je jen otázkou času. Rozvoj využívání všech moderních funkcí, popřípadě Smart Grid, je pak jen otázkou přístupu a rychlosti práce energetických společností, neboť jejich přínos bude významný pro všechny.

## Seznam použitých zdrojů:

- [1] Materiály výrobců elektroměrů- produktové listy, technické specifikace, návody apod.  
URL: < <http://www.landisgyr.com/cz/cz/pub/index.cfm>> [cit. 2009-03-11]  
URL: < <http://www.zpa.cz/>> [cit. 2009-03-11]  
URL: < <http://www.schrack.cz/>> [cit. 2009-03-11]  
URL: < <http://www.echelon.com/>> [cit. 2009-03-11]
- [2] Materiály konference Smart Metering 2009, 20.-21. října 2009, Praha  
URL: <<http://www.konference.cz>> [cit. 2009-03-11]
- [3] Skupina ČEZ  
URL: <<http://www.cez.cz/cs/uvod.html>> [cit. 2010-03-04].
- [4] Materiály konference Metering Billing/ CRM Europe, 6.-8. října 2009, Barcelona  
URL: <<http://www.metering-europe.com>> [cit. 2009-03-11]
- [5] ČEZ Krádeže elektřiny  
URL: <<http://www.kradeze-elektriny.cz/cs/uvod.html>> [cit. 2010-03-04].
- [6] Materiály poskytnuté ČEZ Měření, s.r.o.
- [7] Vladimír Haasz, Miloš Sedláček: Elektrická měření – Přístroje a metody. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1998. ISBN 80-01-01717-6
- [8] Pražská energetika, a.s.  
URL: < <http://www.pre.cz>> [cit. 2010-03-04]
- [9] ETMCZ elektrotechnika on-line  
URL: < <http://www.etm.cz/>> [cit. 2010-03-04]
- [10] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/72/ES  
URL: < <http://eur-lex.europa.eu/>> [cit. 2009-09-09]
- [11] Český metrologický institut  
URL: < <http://www.cmi.cz/>> [cit. 2009-09-09]

## Seznam obrázků a grafů:

Obrázek 1: Ukázka italských tarifů .....	4
Obrázek 2: Porovnání indukčního a statického elektroměru .....	5
Obrázek 3: Princip práce jednofázového činného elektroměru .....	6
Obrázek 4: Zapojení jednofázového a třífázového elektroměru .....	7
Obrázek 5: Elektroměr Actaris SL7000 .....	9
Obrázek 6: Blokové schéma elektroměru ZPA AM350 v přímém zapojení .....	9
Obrázek 7: Provedení senzoru pro měření přeneseného objemu bez přídavného tření .....	11
Obrázek 8: Koncept multiutilitního řešení RWE Germany .....	12
Obrázek 9: Možnosti navázání PLC signálu .....	13
Obrázek 10: Schéma sítě PLC .....	13
Obrázek 11: Nahoře PLC v nn a VN, dole PLC pouze v nn .....	14
Obrázek 12: Zapojení repeateru v síti VN .....	15
Obrázek 13: Principiální schéma RF systému a instalovaný RF repeater .....	15
Obrázek 14: Schéma systému s přenosem dat pomocí technologie GPRS .....	16
Obrázek 15: Ukázka aplikace Google powermeter .....	18
Obrázek 16: Příklad Home Display .....	19
Obrázek 17: Příklad „chytrého domu“ .....	19
Obrázek 18: Spolupráce komponentů ES v síti Smart Grid .....	20
Obrázek 19: Možnost akumulace energie ve formě stlačeného vzduchu .....	21
Obrázek 20: Porovnání tradiční distribuční sítě se Smart Grid .....	22
Obrázek 21: Přímé zapojení třífázového elektroměru .....	23
Obrázek 22: Pokrytí České republiky signálem HDO .....	24
Obrázek 23: Přijímač HDO .....	24
Obrázek 24: Vyčíslení přínosů z nasazení Smart Meteringu .....	28
Obrázek 25: Lokality nasazení pilotního projektu .....	28
Obrázek 26: PLC - střední hodnota: jednotky minut, maximálně: cca 10 minut .....	29
Obrázek 27: RF - střední hodnota: jednotky minut, maximálně: cca 12 minut .....	30
Obrázek 28: Optická sonda pro místní parametrizaci a odečty elektroměru .....	32
Obrázek 29: Skladba odběratelů .....	32
Obrázek 30: Odběry podle počtu fází .....	33
Obrázek 31: Odběry podle jističe před elektroměrem .....	33
Obrázek 32: Odběry podle sjednaných tarifů .....	34
Obrázek 33: Podíl NT na celkovém odběru (X25d) .....	34
Obrázek 34: Využití hlavního 3f jističe .....	35
Obrázek 35: Velikost odběru podle tarifu .....	35
Obrázek 36: Velikost odběru podle jističe .....	36
Obrázek 37: Vypínací charakteristiky jističů .....	37
Obrázek 38: Neoprávněný odběr napojením na kabel před elektroměrem, venkovní vedení .....	43